WP 2 – D 2.1: Boîte à outils de formation et livre électronique

June 2022

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Responsible partner for deliverable:	TUIASI
Contributing partners:	UPC, AEI TEXTILS, UNIWA, CRETHIDEV, CIAPE, CEDECS (content) ISMM, CRNS (translations)
Target Group(s):	International
Distribution level:	Public
Total number of pages:	
Version:	0.1
Reviewed by:	Peer review
Status:	Final

Version control

Number	Date	Description

Copyright © WINTEX Consortium, 2020-2023

Tous les droits sont réservés. La reproduction et l'adaptation sont autorisées, sauf à des fins commerciales, à condition que la source soit mentionnée.

Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Unité 1 Technologie Textile

Traduit par :
Asma AMARA, Noureddine BAAKA, Arwa TURKI, Fadhel JAAFAR
(ISMM)

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Contenu

Cours 1.1 Progrès dans la production tissée 4
1. Modernisation des machines à tisser 4
2. Ourdissage, encollage et tissage d'échantillons 4
2. Rentrage et étirage 9
3. Tissage 10
4. Le tissage étroit pour les applications intelligentes 14
5. Tissage tridimensionnel (3D) 15
Références 17
Questions pour l'évaluation du cours 19
Cours 1.2. Progrès dans la production de non-tissés 20
1. Introduction aux non-tissés 20
1.1. Caractéristiques générales 20
1.2. Applications 21
2. Technologies conventionnelles de production de non-tissés 22
2.1. Technologies de formation de la nappe 22
2.2. Technologies de collage des nappes 24
3. Nouvelles tendances dans la production de non-tissés 25
3.1. L'électrofilage pour la production de non-tissés 26
3.2. Non-tissés durables 26
3.3. L'industrie 4.0 pour la production de non-tissés 29
4. Défis et opportunités pour les textiles non tissés 30
Références 31
Questions pour l'évaluation du cours 32
Cours 1.3 Progrès dans la production de tricots 33
1. Avancées dans la production de tricot 33
2. Progrès de la technologie du tricotage 34
3. Progrès de la numérisation et de la connectivité 38
4. Applications techniques et fonctionnelles/intelligentes 39

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références 42
Questions pour l'évaluation du cours 44
Cours 1.4 Progrès dans la production de tresses 45
1. Progrès dans la production de tresses 45
2. Le tressage 2D 46
2.1. Sur-tressage 46
2.2. Le tressage en dentelle 47
3. Tressage 3D 49
3.1. Tressage 3D cartésien 49
3.2. Tressage rotatif 3D 50
4. Systèmes de CAO pour la modélisation du processus de tressage 52
4.1. Le logiciel TexMind 52
4.2. Le logiciel Herzog 53
4.3. Autres modèles et simulations du processus de tressage 54
Références 55
Questions pour l'évaluation du cours 57

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 1.1 Progrès dans la production tissée

Adrian Buhu
TUIASI
Heura Ventura, Diana Cayuela, Mònica Ardanuy
UPC

1. Modernisation des machines à tisser

Les fabricants de machines ont commercialisé leurs technologies comme étant prêtes pour l'industrie 4.0, ce qui indique qu'ils sont prêts pour la quatrième révolution industrielle qui a commencé en 2000. L'industrie 4.0 tire partie de l'électronique et des ordinateurs de l'ère de l'industrie 3.0 pour créer des applications utilisant la robotique, l'internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle, le big data, etc. Les technologies avancées se retrouvent sur chaque type de machine rencontrée en tissage.

2. Ourdissage, encollage et tissage d'échantillons

Pour être compétitif et répondre à la demande de diversité des nouveaux produits, il est nécessaire d'être équipé de machines de prototypage rapide, pour la production et l'évaluation d'échantillons, avant la production principale. L'utilisation de machines d'ourdissage, de calibrage et de tissage de production pour produire de petits échantillons entraîne une perte importante d'efficacité de production, un gaspillage de matériaux et une augmentation des coûts. Les fabricants de machines proposent des solutions pour éviter ces inconvénients en développant des équipements d'ourdissage, de calibrage et de tissage dédiés à la production d'échantillons et de petites séries [1].

La société taïwanaise CCI Tech Inc, spécialisée dans la fabrication d'ourdissoirs d'échantillons, d'enrouleurs de tailles et de machines à tisser les échantillons, a présenté à l'ITMA 2019 son nouvel ourdissoir d'échantillons avec un cantre intégré dans l'anneau d'ourdissage mobile (voir figure 1). Cela permet de gagner de l'espace, ce qui différencie le modèle par rapport aux versions précédentes Lutan v5.0 et v3.6, présentées lors des précédents salons ITMA, qui nécessitent un cantre autonome stationnaire avec un encombrement considérable.

Les caractéristiques comprennent une largeur de travail de 2,6 m, une plage de longueur de chaîne de 15 à 500 m, une vitesse d'ourdissage de 14 400 m/min, une capacité de 24 cantres, une circonférence de tambour à motifs de 5 m et 10 barres de location. Grâce à ces caractéristiques, la machine est capable de produire des séquences de couleurs complexes pour des échantillons de faible largeur et des tirages moyens

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

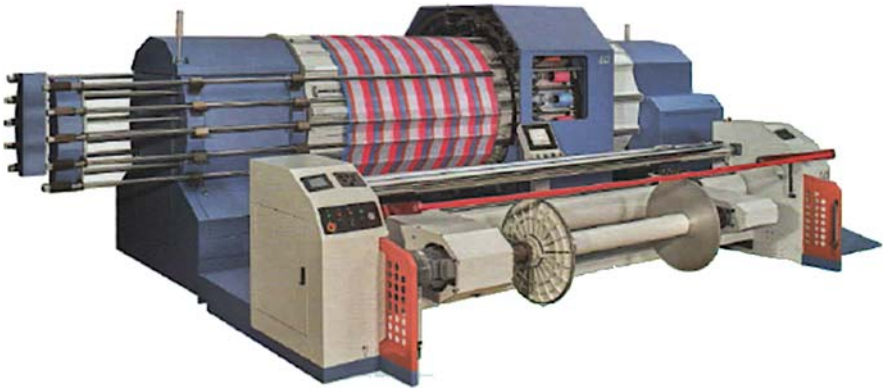


Figure 1. Exemple de déformation, modèle Lutan.com de CCI Tech Inc. (Taiwan) [2]

L'ourdissoir est équipé d'un logiciel intégré (Lutronic et SE-edit) avec une interface conviviale permettant de régler la séquence des couleurs, le nombre et l'emplacement des baux et d'autres spécifications de la chaîne. Après avoir été saisie par l'utilisateur, la machine forme automatiquement la chaîne avec les spécifications souhaitées par l'utilisateur. Cependant, les opérations d'ensouplage nécessitent l'intervention de l'opérateur pour transférer la chaîne du tambour à dessin à l'ensouple.

Pour produire des échantillons à partir de fils qui doivent être traités par encollage, les bobinoirs d'encollage constituent le moyen le plus simple de fournir des bobines de fils encollés aux ourdisseurs d'échantillons. En fait, certaines entreprises utilisent des bobinoirs d'encollage couplés à des ourdissoirs d'échantillons non seulement pour produire des échantillons, mais aussi pour des séries courtes, moyennes et longues. CCI Tech Inc. fournit également des enrouleurs de calibrage. Lors du salon ITMA 2019, l'entreprise a exposé sa bobineuse encolleuse à 2 broches Taroko [3]. La machine est proposée en versions modulaires à 2 broches et à 4 broches dans un maximum de 4 modules (c'est-à-dire un maximum de 16 broches), comme le montre la figure 2. Chaque broche (position) est contrôlée individuellement avec un système d'entraînement, une boîte de taille et une zone de chauffage dédiés. Grâce à ce réglage, la machine peut être utilisée pour traiter différents fils avec différentes formules d'encollage et concentrations d'encollage, encollage-humidification (et donc ajout d'encollage), etc. La machine peut fonctionner jusqu'à une vitesse d'encollage de 500 m/min. La Taroko est équipée d'un PC industriel/Windows OS et d'un accès Internet via WiFi/Ethernet pour le contrôle et la surveillance à distance de chaque position.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Figure 2. Bobine de calibrage à une extrémité, modèle Taroko de CCI Tech Inc. (Taiwan) [3]

CCI Tech Inc. a également présenté deux de ses machines à tisser à pinces simples Evergreen II. L'Evergreen II a les mêmes caractéristiques que la version précédente Evergreen I mais elle est plus compacte, pour gagner de l'espace, et beaucoup plus rapide [4]. L'Evergreen II est disponible en largeur de tissage de 50 cm ou 90 cm et peut atteindre une vitesse de tissage de 100 duites/minute. La machine est équipée de 8 fournisseurs de trame pour faire face au tissage à grande vitesse. Les machines sont dotées de contrôleurs intégrés et d'un système de CAO pour la création/saisie de trames/motifs avec une interface conviviale.

Karl Mayer a présenté à l'ITMA 2019 une version de son ourdissoir d'échantillons Multi-Matic®32. Le 32 correspond à la capacité du cantre (permettant l'utilisation de 32 couleurs de fils différentes). L'entreprise propose 3 versions de Multi-Matic® avec une capacité de cantre de 32, 64 et 128 bobines. Le Multi-Matic® avec une capacité de cantre de 128 a déjà été présenté à l'ITMA 2011. Les trois versions offrent une flexibilité en termes de capacité de cantre en fonction de l'espace et des applications requises par les tisseurs. La comparaison entre les différentes versions du Multi-Matic® est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1. Comparaison entre les caractéristiques des ourdissoirs Multi-Matic. Informations adaptées de [5].

Paramètre	Multi-Matic®64 et 128	Multi-Matic®32
Largeur de travail, m	3,6 et 2,25	2.25
Plage de longueur de chaîne, m	35 - 1500	35 - 1050
Capacité du cantre, nombre maximum de bobines	64, 128	32
Détection optique de rupture de fil	oui	oui
Vitesse maximale de changement de couleur, m/min	800	800
Vitesse maximale d'ourdissage, m/min	800	800
Vitesse maximale d'ensouplage, m/min	60 (150)	60

Comme indiqué dans le tableau 1, les machines sont capables de produire une gamme de longueurs de chaîne de 35 à 1050 mètres dans le cas de la version 32, et la gamme est plus élevée (35 à 1500 mètres) dans le cas des versions 64 et 128. Avec une telle gamme de longueur et de largeur de

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

chaîne, les machines sont capables de produire des chaînes courtes et étroites pour le tissage d'échantillons ainsi que des chaînes larges et longues pour le tissage de production. Ainsi, les machines Multi-Matic® sont en concurrence directe avec les ourdisseurs sectionnels. En outre, les machines ne sont pas limitées en termes de taille de répétition des couleurs (la chaîne entière peut être une répétition de couleur, figure 3), alors que la taille de répétition des couleurs est limitée dans les ourdissoirs sectionnels. Outre la séquence de couleurs complexe et illimitée, les autres caractéristiques comprennent le changement automatique de couleur, le temps de réglage court de la séquence de couleurs et le nombre souhaité de baux via un système CAO à interface utilisateur conviviale.

Figure 3. Grand rapport de répétition des couleurs dans le Multi-Matic® de Karl Mayer (Allemagne)

Après la pré-programmation et le réglage des bobines sur le cantre, le reste du processus d'ourdissage est automatique, y compris la location pour le rentrage et la séparation des barres de taille. Une fois l'ourdissage terminé, le processus d'ensouplage nécessite l'intervention de l'opérateur pour transférer la chaîne du tambour à dessin à l'ensouple.

Les solutions sélectionnables et innovantes offertes par la configuration PROWARP® comprennent l'ourdissage PROACTIF, un système d'optimisation de la qualité de l'ensouple qui sera à l'avenir basé sur le cloud. Le nouveau développement comprend un total de trois niveaux et la quantité d'informations augmente avec chacun d'eux. Le niveau 1 fournit aux protocoles des données sur la qualité de l'ourdissage ou de l'ensouple, qui sont complétées au niveau 2 par une gestion active de la qualité avec un classement par étoiles défini par le client. Ce niveau d'extension offre également la possibilité d'intégrer un système de caméra moderne à haute résolution, une solution innovante enregistre les mesures, y compris la largeur de bande et la mise en place de la bande (la distance de la bande à la bande ou au cône). En outre, le niveau 3 offre des évaluations et des diagrammes pour les tensions de fil unique de l'arrêt de fil MULTIGUARD en option. Aux niveaux 2 et 3, les données sont également échangées avec le cloud KM.ON via le dispositif KM.ON k.ey. Grâce à la mise en réseau dans le nuage, il est possible de créer un tableau de bord de la machine en temps réel et, à l'avenir, de le synchroniser avec les nouveaux paramètres de démarrage via un algorithme. En cas d'écarts, les données de production peuvent être optimisées et adoptées pour des commandes répétitives si souhaité. Cela permet d'améliorer la qualité du faisceau, quel que soit le personnel d'exploitation [6].

VANDEWIELE a dévoilé un cantre appelé "Smart Creel". Le cantre est construit avec des cellules disposées en lignes et en colonnes (matrice), comme l'illustre la figure 4.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Figure 4. Le robot cantre intelligent de VANDEWIELE enroule un fil rouge sur une cellule [7].

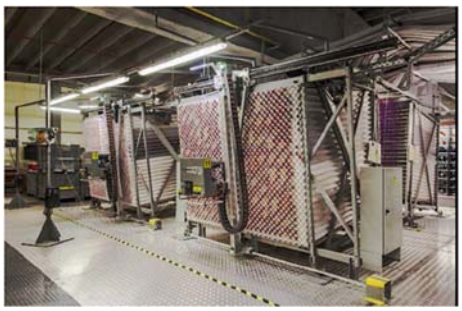


Figure 5. Creel intelligent avec plusieurs robots [8].

Le fil est enroulé sur chaque cellule à partir d'un grand paquet fourni par un robot, par l'intermédiaire d'un fournisseur de fil (identique au fournisseur de trame). Les fils de différentes couleurs nécessaires à la conception du tapis sont fournis à partir de grands paquets. À l'ITMA 2019, le Smart Creel était placé derrière le VSi32 Velvet Smart Innovator équipé d'un Jacquard pour alimenter les fils de poil. La longueur du fil de poil de chaîne par chaque cellule (bac) est préprogrammée en fonction du design du tapis. Plusieurs cantres et robots, figure 5, peuvent être utilisés pour accélérer le processus d'ourdissage. Le cantre intelligent offre plusieurs avantages. Ceux-ci comprennent :

(1) l'élimination de l'erreur humaine pour la disposition des couleurs dans le cantre.

(2) élimination de l'enroulement arrière des paquets et du besoin de bobineuses

(3) élimination des temps d'arrêt pour le chargement/rechargement du cantre

(4) réduction des déchets grâce à sa taille réduite par rapport au cantre traditionnel (les bacs sont plus proches de la machine à tisser)

(5) réduction de l'espace du cantre puisque la taille du bac est beaucoup plus petite qu'un paquet enroulé.

Bien que le système Smart Creel soit destiné aux petites séries (ou aux échantillons) qui peuvent se succéder, le concept pourrait être étendu aux moyennes et longues séries en augmentant la taille des cellules (bacs). Le Smart Creel peut remplacer le cantre traditionnel composé d'un ourdissoir sectionnel (ourdissoir indirect) et d'un ourdissoir d'échantillons. L'application du Smart Creel peut

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

également être étendue à l'ourdissage direct pour les moyennes et grandes séries en fonction de la taille des cellules.

Un autre type de cantre, le "cantre rapide", a été installé derrière une nouvelle machine à tisser pour tapis et moquettes RCE2+ pour alimenter les fils de poil. Dans le cantre rapide, chaque fil de poil est contrôlé individuellement par un servomoteur qui régule l'alimentation et la tension de chaque fil en fonction de la longueur de poil requise pour la conception du tapis (Figure 6).

Figure 6. Le cantre rapide de VANDEWIELE composé de paquets rotatifs et de servomoteurs [9].

Le servomoteur fonctionne également comme un mouvement d'arrêt lorsque son fil est tombé, grâce à une détection intelligente de son couple. Ceci permet aux fils de poil d'être alimentés directement à la machine sans avoir besoin de passer par un mouvement d'arrêt traditionnel, ce qui permet de gagner du temps et d'obtenir un crêpage rapide des bobines de fil. VANDEWIELE a développé le système TEXconnect associé à la production de tissage de tapis qui acquiert des données sur la consommation, la tension et l'enfilage de chaque fil de poil. Le système permet également une maintenance prédictive. Grâce au développement combiné des systèmes Smart Creel, Fast Creel et TEXconnect, il est possible d'obtenir des machines de tissage de moquettes auto-apprenantes. TEXconnect est une plateforme en nuage pour les clients de VANDEWIELE qui permet le processus de numérisation dans une entreprise textile [10]. Cette plateforme permet de connecter des machines, des logiciels et des données numériques sur les processus textiles, ce qui améliore la productivité, la qualité et l'efficacité de la production.

2. Rentrage et étirage

Une nouvelle machine de rentrage automatique fabriquée par Groz-Beckert est Warp Master Plus, qui est basée sur la version précédente WarpMaster présentée à l'ITMA 2015. Warp Master Plus a les mêmes caractéristiques que la version précédente, plus des caractéristiques supplémentaires qui incluent le fonctionnement via un ordinateur moderne et pivotant avec écran tactile (avec 2 écrans en option) pour le confort de l'utilisateur, Figure 7. Comme la version précédente, le Warp Master Plus tire la chaîne d'un seul paquet de fils, suivi du processus de tying-in, puis du tissage [11].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

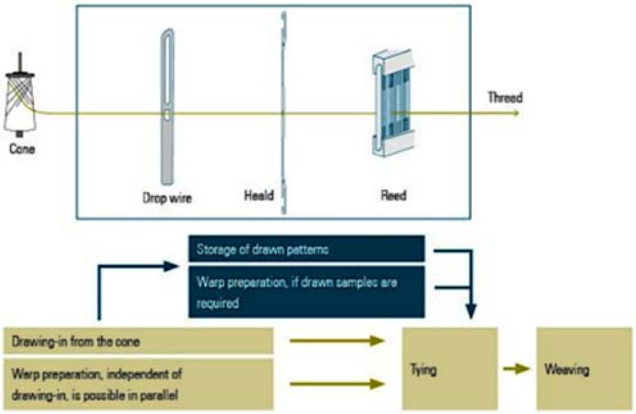


Figure 7. Principe du tirage au sort utilisé par Groz-Beckert dans WarpMasterPlus

Groz-Beckert a continué à présenter ses différentes versions de machines automatiques de rentrage KnotMaster (AS/3, TS/3, XS/3Q, RS/3, RSD/3, 2s/3 et TS/3 TapeMaster) pour une large gamme de types de fils de chaîne [12]. Il s'agit notamment de fils en fibres naturelles et synthétiques, de fils monofilaments, de fils texturés, de fils contenant du spandex, de fils d'acier, de rubans en PP et PET, de fils fantaisie, de fils en fibre de verre et de fils haute performance. Les machines sont capables de détecter les doubles extrémités des chaînes louées ou non louées et sont équipées d'un système de détection de rupture de fil.

Staubli a continué à développer sa machine d'étirage automatique SAFIR s60 [13]. La société a également développé une nouvelle machine de rentrage : TIEPRO utilisée pour les chaînes standard dans toutes les usines de tissage, TOPMATIC pour les fils très fins, MAGMA pour le liage des fils grossiers et les cadres de liage TPF [14]. La caractéristique la plus importante de ces machines est la nouvelle méthode de séparation des fils. La méthode traditionnelle de séparation des fils est réalisée à l'aide d'une aiguille. Il faut toute une gamme d'aiguilles pour assurer la séparation en fonction du type et de la taille du fil. La TIEPRO utilise un petit mécanisme conique de séparation des fils et n'a donc pas besoin d'aiguilles.

3. Tissage

Dornier a présenté à l'ITMA 2019 un total de cinq machines à tisser à jet d'air (A1) et à lances (P2) (trois sur son stand, une sur celui de Staubli et une sur celui de Bonas) tissant une gamme variée de tissus pour l'habillement, les textiles de maison et les textiles industriels. Deux machines à lances P2, présentées à l'ITMA 2015 avant leur commercialisation, ont été exposées à l'ITMA 2019. La machine P2 Type TKN 8/S G24/ 90 cm tissait du tissu d'ameublement et la P2 Type TKN 4/E D8/360 cm tissait du tissu d'enduction à un taux d'insertion de trame (FIR) de 925 et 1 134 m/min, respectivement, Figure 8.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les trois autres machines étaient des A1 à jet d'air. La machine A1 Type AWS 6/S G16/210 cm (Figure 9) tissait du tissu d'ameublement automobile à un taux d'insertion de trame (FIR) de 2 010 ; la machine A1 ServoTerry Type ATSF 8/J G/340 cm tissait du tissu éponge Jacquard à un FIR de 2 184 ; et la machine A1 Type AWS 6/J G/240 cm tissait du tissu Jacquard pour vêtements féminins à un FIR de 2 147 (voir Figure 10) [16].

Figure 8. Machine à tisser à pinces P2 [15]

Figure 9. Machine à tisser jet d'air A1 de DORNIER, AWS 6/S G16 avec une largeur nominale de 210cm

Figure 10. Machine à tisser à lances P1 de DORNIER, PTS 8/J G avec une largeur nominale de 260 cm en combinaison avec une machine Jacquard Bonas.

La société Itema a présenté sur un stand six nouvelles machines à tisser (deux à jet d'air et quatre à lances), les A9500-2 et R9500-2. Sur un autre stand, Itematech (anciennement Panter qui a récemment rejoint Itema) a présenté quatre machines de réparation : une R9500-2, deux Hercules et une UniRap. Les machines tissaient des produits diversifiés pour l'habillement, le textile de maison et le textile technique. Sur le stand d'Itema, l'une des machines à jet d'air A9500-2/340 cm tissait des draps de lit et l'autre A9500-2/190 cm produisait des tissus d'habillement [17], [18]. Les quatre

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

machines à pinces (R9500-2/220 cm, R9500-2/190 cm, R9500-2/340 cm, R9500-2/260 cm) tissaient respectivement du denim, de la chemise, des tissus d'ameublement Jacquard et des serviettes de plage Jacquard. Itema exposait quatre machines pour le tissu de filtre (R9500-2/280 cm), le géotextile (Hercules/550 cm), le tissu de filtre lourd (Hercules/380 cm) et le tissu d'ameublement (UniRap/160 cm). Les machines UniRap sont des machines à pinces positives simples et tissaient un tissu d'ameublement à partir de fils de chaîne et de trame en fibre de lin sous la forme d'une étoupe sans torsion. La densité linéaire des fils de chaîne et de trame était de 1 000 tex et la densité de la chaîne et de la trame était de 0,67 fils/cm. Pour que l'orientation des fils de chaîne reste plate, on a utilisé des fils de lisses spéciaux à œil plat. Le dispositif d'alimentation en trame du paquet rotatif a également été utilisé pour maintenir l'orientation du remplissage à plat sans ajouter de torsion. Cette machine pourrait être utilisée pour tisser des étoupes à partir de fibres à haute performance telles que le Kevlar, le carbone, le Zylon, etc. Il convient de noter que la chaîne a été alimentée par un cantre contenant les paquets d'étoupes. Ce réglage ne nécessite pas de processus d'ourdissage puisque le nombre total d'étoupes n'est pas élevé (0,67 fils/cm x 160 cm = 107).

Itema a également présenté une nouvelle machine à tisser modèle DISCOVERY, qui était l'une des principales attractions du salon, avec un nouveau mécanisme d'insertion de la trame [19]. Bien que la société ait qualifié l'insertion de trame de "Positive Flying Shuttle", la machine est sans navette car elle utilise des bobines de trame fixes et des alimentateurs de fil de trame qui sont des caractéristiques du tissage sans navette. Ainsi, la machine est une machine à projectile sans navette avec pince qui est similaire au projectile traditionnel de Sulzer. Si le projectile est utilisé comme moyen d'insertion du fil de remplissage, son accélération est assurée par un mécanisme radicalement différent. Dans la Sulzer traditionnelle (qui fait partie d'Itema), l'accélération du projectile est assurée par un bras de préhension qui prend son mouvement d'un arbre de torsion. Dans le cas de la machine DISCOVERY, le projectile est accéléré par une barre (appelée par l'auteur "picking bar") qui se déplace horizontalement dans une rainure. La barre entre en contact avec le projectile et le déplace sur une certaine distance pour lui fournir une accélération (énergie) suffisante, puis inverse son mouvement en laissant le projectile avec le fil de remplissage pour terminer l'insertion. Le contact entre la barre de ramassage et le projectile sur une certaine distance/temps pourrait permettre un mouvement plus doux avec une accélération graduelle plutôt que la méthode d'impact soudain dans le cas du projectile traditionnel de Sulzer. Pendant son déplacement dans le hangar, le projectile est guidé par un tunnel dont la forme est différente et plus simple que celle du projectile traditionnel de Sulzer. Comme le projectile traditionnel, la machine DISCOVERY possède plusieurs projectiles et l'insertion se fait par le côté gauche de la machine. La machine tissait deux tissus denim côte à côte avec un fil de chaîne en coton 8,75/1, 20 bouts/cm, un fil de trame en polyester/Spandex 167x2 dtex, 18 duites/cm, et une largeur de 3,72 m en peigne. La vitesse de tissage de la machine DISCOVERY était de 350 picks/min ou (taux d'insertion de remplissage de 1 302 m/min) et elle peut fonctionner à 400 picks/min (ou taux d'insertion de remplissage de 1 488 m/min). Ceci est similaire à la gamme de vitesse (ou taux d'insertion de remplissage) des machines à projectiles traditionnelles.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les connaissances de l'Itema étant limitées, les caractéristiques et les applications complètes de la machine DISCOVERY doivent encore être révélées et évaluées par les tisserands.

La société belge Picanol a présenté dix machines à tisser. Cinq de ces machines étaient des machines à jet d'air (deux OmniPlus-i-4-D-190, l'une tissant un tissu de siège de voiture et l'autre un tissu de popeline, une OmniPlus-i-4-R-190 tissant un tissu de parachute, une OmniPlus-i-4-P-280 tissant un tissu de drap et une OmniPlus-i-4-P-190 tissant un tissu de fond). Les cinq autres machines étaient des machines à pinces (OptiMax-i-4-R-220 tissant un tissu denim, OptiMax-i-4-P-540 tissant un tissu agro-textile, OptiMax-i-12-J-190 tissant un tissu d'ameublement Jacquard, TerryMax-i-8-J-260 tissant une serviette éponge Jacquard et OptiMax-i-4-R-460 tissant un tissu de revêtement). La plage de vitesse d'insertion de la trame des machines à jet d'air était de 1 914 à 2 535 m/min et celle des machines à pinces, à l'exception des deux machines tissant un tissu éponge Jacquard et un tissu d'ameublement, de 1 456 à 1 485 m/min. Les machines TerryMax-i-8-J-260 et OptiMax-i-4-R-460 fonctionnaient à une vitesse variable en fonction des différentes parties de l'éponge et des types de fils de trame, respectivement. Picanol a construit l'OptiMax-i pour le tissu denim avec une insertion de remplissage presque entièrement numérisée. Le pré-enrouleur (alimentateur de remplissage) est équipé d'un affichage de tension programmable (TED) avec réglage numérique du frein pour contrôler la tension du fil de remplissage pendant l'insertion. Cela permet de mémoriser et de contrôler la tension idéale pour un fil de trame donné afin de garantir la reproductibilité à l'avenir. La machine est également équipée d'un dispositif électronique d'ouverture de la pince droite (ERGO) qui est contrôlé électroniquement (au lieu d'un réglage mécanique) pour régler numériquement l'ouverture de la pince afin de minimiser la longueur des déchets de remplissage au niveau de la lisière droite du tissu. De plus, la machine est équipée du présentateur de remplissage QuickStep qui permet de programmer numériquement différents temps de présentation, d'insertion et de repos du remplissage. Grâce à ces caractéristiques et à la numérisation déjà établie de l'efficacité du tissage et de l'acquisition des données d'arrêt (chaîne, remplissage et autres arrêts), une machine auto-apprenante est possible si l'analyse des données massives et l'intelligence artificielle peuvent être ajoutées pour atteindre l'industrie 4.0.

La société Smit SRL a présenté le modèle ONE (pinces simples), avec une largeur de peigne de 190 cm, un système de vol libre (aucun guide n'est nécessaire pour soutenir la pince pendant l'insertion de la trame) qui permet de tisser des tissus d'ameublement complexes à 380 picks/min (722 m/min FIR). Deux machines du modèle ONE ont été présentées à l'ITMA 2015 et ont tissé du tissu d'ameublement et du tissu d'habillement rayé à deux voies. Les quatre autres machines étaient :

a) Le nouveau modèle GS980 avec une largeur de peigne de 360 cm tissant des draps de lit Jacquard à 360 picks/min (1 296 m/min FIR) en utilisant le Bonas jumbo Jacquard d'une capacité de 27 648 crochets ; la plus haute exposée à ce salon,

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

b) Machine modèle GS980 avec une largeur de peigne de 220 cm, tissant un tissu synthétique pour vêtements de sport à 550 duites/min (1200 m/min FIR) avec un nouveau dispositif appelé 2SAVE qui élimine les lisières auxiliaires des deux côtés et permet le recyclage de la trame coupée.

c) Machine modèle GS980, largeur du peigne 280 cm, Jacquard Staubli 6144, tissage de tissu Jacquard Terry à 289-320 duites/min (809-896 m/min FIR),

d) Modèle FAST, machine à tisser avec une largeur de peigne de 220 cm, double lance à vol libre, produisant du tissu denim à 700 duites/min (1540 m/min FIR), ce qui est une vitesse élevée pour un vol libre.

Toyota a continué à montrer les machines à jet d'air JAT 810 qui ont été présentées à l'ITMA 2015. Trois machines JAT810 ont été exposées en train de tisser lors de ce salon. Il s'agissait de la JAT810 8T-280ES-ET tissant trois serviettes de bain côte à côte, de la JAT810 6SF-340DE-EF tissant du tissu pour rideaux, et de la machine JAT810 4F-190EC-EF formant du tissu d'ameublement. En outre, la société a présenté une nouvelle machine, la machine à tisser à jet d'air "JAT New Concept", qui forme un tissu extensible de 230 cm de large. L'entreprise a indiqué qu'il s'agissait de sa nouvelle génération de machine à jet d'air, tournée vers l'automatisation, l'usine intelligente et l'écotechnologie.

Tsudakoma a ensuite présenté trois métiers à tisser à jet d'air ZAX9200i Master. L'une des machines, la ZAX9200i-190-2C-C6, tisse des tissus industriels à partir de monofilaments PE fins de 33 dtex dans les deux sens (chaîne et trame) à une vitesse de 1 200 picks/min et une largeur de 156 cm (ou 1 872 m/min FIR). Normalement, le tissage à jet d'eau est utilisé pour l'insertion de monofilaments fins. La deuxième machine, ZAX9200i-190-4C-D16, tisse des tissus d'ameublement intérieur à une vitesse de 1 300 duites/minute et une largeur de 171 cm (ou 2 219 m/min FIR). La troisième machine était la ZAX9200i-Terry-280-8C-J qui tissait des tissus éponge Jacquard trois faces à 1 000 duites/minute pour les sections éponge et 750 duites/minute pour les sections bordures et une largeur de 260 cm (ou 260 cm et 1 947 m/min FIR, respectivement).

Les fabricants de machines à tisser ont mis l'accent sur la diversité des capacités de leurs machines à tisser pour les trois marchés, à savoir l'habillement, les textiles de maison et les textiles techniques.

4. Le tissage étroit pour les applications intelligentes

Jakob Müller a présenté à l'ITMA 2019 une machine à tisser étroite NFM®MDW® identifiée comme "Multi Direction Weaving". La machine tissait un tissu contenant deux fils conducteurs d'électricité issus d'un mélange de PES/Cu/Ag (e-yarns). Les deux fils se déplaçaient indépendamment du mouvement principal de la foule à l'aide d'un guide pour chacun d'eux. Un mouvement stratégique peut être préprogrammé pour soulever les fils électriques hors du peigne (peigne ouvert), les

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

déplacer de chaque côté sur une distance et des pics spécifiés, les abaisser pour les entrelacer avec le fil de trame. Le mouvement calculé des guides de fils électriques aboutit à la formation d'une zone couverte de fils électriquement conducteurs répartis sur la surface du tissu selon le motif souhaité. Le Cu et l'Ag sont des matériaux antibactériens et électriquement conducteurs et le produit avec ces éléments peut être utilisé comme doublure de chaussure et chauffage. Le tissu avec un circuit électriquement conducteur peut être utilisé pour connecter des dispositifs dans le textile électronique qui a une gamme d'applications [20].

5. Tissage tridimensionnel (3D)

Staubli a produit des échantillons tissés en 3D pour démontrer les capacités des machines à tisser Jacquard et ratière de la société. Le présentoir contient un tissu orthogonal 3D, un tissu à épaisseur variable 3D, un tissu à distance (espaceur), un tissu multicouche cousu et un tissu double non cousu/cousu pour l'insertion d'équipements, figure 10.

Figure 10. Échantillons tissés en 3D fabriqués par Staubli [21].

Les applications de ces échantillons comprennent des préformes pour les composites, les gilets pare-balles souples/durs, les textiles électroniques embarqués, les capteurs, etc. À l'ITMA 2019, la société VUTS (Liberec, République tchèque) a présenté une nouvelle machine à tisser à jet d'air dédiée au tissage de tissu à distance 3D avec une distance constante ou variable entre les tissus de base (sol) supérieur et inférieur. Deux ensouples ont été utilisées, l'une pour alimenter la feuille de chaîne des tissus de base supérieurs et inférieurs et l'autre pour alimenter la feuille de chaîne des poils. Les applications potentielles des tissus à distance comprennent les bateaux gonflables de différents types, les quais, les tapis, la protection contre les inondations, les coussins de levage, etc. Actuellement, l'industrie des bateaux gonflables utilise la technique du point de chute pour écarter deux tissus qui seront laminés après le point de chute. De nombreuses aiguilles sont utilisées pour joindre les deux tissus de base. Les machines de point de chute et les procédures de réglage sont complexes et longues. Le processus peut prendre plus de 20 jours pour retirer et remplacer les aiguilles. Les tissus à distance produits par le processus de tissage sont beaucoup plus rapides (productifs) et plus faciles à concevoir et à former selon la géométrie souhaitée [22].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Optima 3D, nouvelle société créée en 2018, a conçu et développé une gamme de machines de tissage 3D pour la formation de préformes pour l'industrie des composites [22]. L'entreprise a présenté son Optima 500/150, qui utilise un système de navette pour l'insertion de la trame et un système de formation de la foule Jacquard avec une interface utilisateur électronique pour la saisie des paramètres de structure qui offrent une flexibilité de conception des préformes.

Bien que Dornier n'ait pas exposé sa nouvelle machine à tisser 3D annoncée il y a quelques années, la société a fourni une brochure sur ses systèmes composites incluant le tissage 3D, qui est utilisé pour fabriquer des préformes multicouches pour des applications composites. Les caractéristiques de la machine comprennent l'utilisation d'un système CAO pour programmer la structure de tissage, un système d'insertion de trame à lances rigides, un système de formation de la foule Jacquard à contrôle individuel des fils de chaîne, un cantre pour l'alimentation en fils de chaîne à partir de bobines, et un système d'enroulement horizontal en option pour les préformes épaisses. Les techniques de tissage multicouches (3D) sont connues depuis longtemps et utilisées pour la production de tissus d'ameublement, de tuyaux, de greffons tubulaires, d'airbags, etc. en utilisant une foule à la fois. Ces produits ont été développés avant l'invention des systèmes de CAO en utilisant des systèmes mécaniques de ratière et de foule Jacquard. Avec le développement de la ratière électronique à grande vitesse et du système Jacquard, les systèmes de CAO doivent créer des armures numériques pour contrôler le mouvement des fils de chaîne afin de former des foules individuelles selon la conception de l'armure. Bien que ces systèmes de CAO puissent être utilisés pour développer des structures 3D orthogonales, cellulaires, en forme de I et de T, ils requièrent un concepteur de tissage très compétent ayant une compréhension approfondie des géométries de tissu 3D. Le besoin de systèmes de CAO intuitifs et faciles à utiliser pour développer des tissus 3D se fait cruellement sentir.

La société de logiciels EAT a récemment mis au point le logiciel de composition de tissage 3D. La section transversale de la chaîne ou de la trame est dessinée numériquement sur du papier carré et des informations sont fournies sur la taille et la couleur (type) des fils de chaîne et de trame de chaque couche de chaîne via l'interface utilisateur. Le système fournit ensuite une visualisation 3D en couleur de la structure. Le logiciel convertit ensuite le dessin en un mouvement traditionnel de haut en bas de chaque fil de chaîne pour le tissage avec un métier à tisser à foule unique.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] AFM. Seyam, Innovation in Weaving at ITMA 2019, Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, Special Issue: ITMA, 2019 [En ligne]. Disponible sur : https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/JTATM/article/download/16385/7267 [Consulté le 24 mai 2021].

[2] Produits. Warping. CCI Tech Inc. [En ligne]. Disponible sur : https://www.ccitk.com/product.php?id=2 [Consulté le 4 juin 2021].

[3] Produits. Machine d'encollage multi-broches Taroko. CCI Tech Inc. [En ligne]. Disponible sur : https://www.ccitk.com/product_detail.php?id=10 [Consulté le 4 juin 2021].

[4] Produits. Evergreen II. Métier à échantillonner. CCI Tech Inc. [En ligne]. Disponible sur : https://www.ccitk.com/product_detail.php?id=246 [Consulté le 4 juin 2021].

[5] Nouvelles et médias. Le PROWARP® et le MULTI-MATIC® 32 de KARL MAYER impressionnent le marché. Karl Mayer. [En ligne]. Disponible sur : https://www.karlmayer.com/en/news-and-media/news/karl-mayers-prowarp-and-multi-matic-32-impress-the-market/ [Consulté le 21 juillet 2021].

[6] Automatisation. Cantre intelligent. Cantre à bobines automatisé. VandeWiele. [En ligne]. Disponible sur : https://www.vandewiele.be/en/activities/smart-creel [Consulté le 21 juillet 2021].

[7] Tissage de tapis. RCE2+. VandeWiele. [En ligne]. Disponible sur : https://www.vandewiele.be/en/activities/rce2 [Consulté le 21 juillet 2021].

[8] TEXconnect. TEXconnect. [En ligne]. Disponible sur : https://www.texconnect.be/en [Consulté le 30 juin 2021].

[9] Actualités (septembre 2019). WarpMasterPlus - La nouvelle génération. Groz-Beckert. [En ligne]. Disponible sur : https://www.groz-beckert.com/en/company/news/newsletter/weaving/2019/m2_weaving_warpmasterplus.html [Consulté le 1er juillet 2021].

[10] Tissage. Attachement. Groz-Beckert. [En ligne]. Disponible sur : https://www.groz-beckert.com/en/products/weaving/knuepfen/ [Consulté le 1er juillet 2021].

[11] PRÉPARATION AU TISSAGE. SAFIR S60 pour les tissus à plis de haute qualité. Staubli [En ligne]. Disponible sur : https://www.staubli.com/en-us/textile/textile-machinery-solutions/weaving-preparation/drawing-in/safir-s60/ [Consulté le 27 juin 2021].

[12] PRÉPARATION AU TISSAGE. Installations de liage de la chaîne. Staubli. [En ligne]. Disponible sur : https://www.staubli.com/en-us/textile/textile-machinery-solutions/weaving-preparation/warp-tying/ [Consulté le 27 juin 2021].

[13] Machines à tisser. La machine à tisser à lances P2. Lindauer Dornier GmbH [En ligne]. Disponible sur : https://www.lindauerdornier.com/en/weaving-machines/rapier-weaving-machine-p2/ [Consulté le 25 juin 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[14] Actualités (2015, 08 octobre). Les "Green Machines" de Lindauer DORNIER à l'honneur des innovations et des "technologies vertes". Texdata International. [En ligne]. Disponible sur : https://www.texdata.com/news/ITMA2015/8970.Lindauer-DORNIER%E2%80%99s-%E2%80%9CGreen-Machines%E2%80%9D-in-the-limelight-of-innovations-and-%E2%80%9Cgreen-technologies%E2%80%9D.html [Consulté : 25 juin. 2021].

[15] Produits. Machine à tisser A9500² Airjet. Itema. [En ligne]. Disponible sur : http://www.itemagroup.com/en/products/airjet/a9500-2-en/ [Consulté le 2 juillet 2021].

[16] Produits Gamme complète de produits denim. R9500²denim: La deuxième génération de la machine à tisser Itema Rapier Denim. Itema. [En ligne]. Disponible sur : http://www.itemagroup.com/en/products/rapier/r9500-2-denim/ [Consulté le 2 juillet 2021].

[17] Le coin de la technologie. Itema DISCOVERY: Le métier à tisser du futur. Itema. [En ligne]. Disponible à l'adresse suivante: http://www.itemagroup.com/en/newsletter/technology-corner-discovery-itma-barcellona-2019-en/ [Consulté le 2 juillet 2021].

[18] Systèmes de tissage en tissu étroit. SYSTÈMES DE TISSAGE POUR TISSUS ÉTROITS NFM® MDW®. Groupe Jakob Muller. [En ligne]. Disponible sur : https://www.mueller-frick.com/en/products-applications/narrow-fabric-weaving-systems/nfm-mdw [Consulté le 1er juillet 2021].

[19] Tissage technique des tissus. Solutions produits Stäubli pour la fabrication de tissus techniques. Staubli. [En ligne]. Disponible sur : https://www.staubli.com/en/textile/technical-fabric-weaving/application-solutions/ [Consulté le 26 juin 2021].

[20] Machine à tisser à jet d'air DIFA. DIFA Nouvelle dimension du tissage. VUTS Liberec. [En ligne]. Disponible sur : https://www.vuts.cz/difa-new-dimension-of-weaving.html [Consulté le 19 juin 2021].

[21] Technologie. Technologie de tissage 3D. Optima 3D Ltd. Solutions de tissage en composite. [En ligne]. Disponible sur : https://www.optima3d.co.uk/3d-weaving [Consulté le 18 juin 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Les équipements d'ourdissage, d'encollage et de tissage dédiés à la production d'échantillons et de petites séries sont conçus pour éviter :

Veuillez choisir une seule bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) La perte d'efficacité de la production et le gaspillage de matériaux
b) L'augmentation des coûts et la diversité des produits
c) La demande de diversité des produits et les matériaux

Question 2 : Lequel des concepts suivants est faux :

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) Les avancées dans la production de tissage n'ont pas encore atteint le stade de l'industrie 4.0.
b) Le tissage 3D permet de produire des préformes pour les composites, les gilets pare-balles ou les textiles électroniques embarqués, entre autres.
c) La production de tissage progresse également dans la production de textiles pour des applications intelligentes ou le développement de systèmes de CAO.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 1.2. Progrès dans la production de non-tissés

Diana Cayuela, Heura Ventura, Mònica Ardanuy
UPC

1. Introduction aux non-tissés

Les non-tissés sont définis par la norme ISO 9092 comme "un assemblage fibreux technique, principalement plan, auquel on a conféré un niveau d'intégrité structurelle par des moyens physiques et/ou chimiques, à l'exclusion du tissage, du tricotage ou de la fabrication du papier" [1]. Les non-tissés sont constitués de fibres, de filaments ou de fils coupés, de toute nature (naturelle ou artificielle) et dans une certaine distribution aléatoire, qui sont liés entre eux.

1.1. Caractéristiques générales

Les non-tissés présentent une grande polyvalence, une grande innovation et un bon rapport coût-efficacité, mais ils peuvent en outre répondre à de nombreuses spécifications techniques, ce qui en fait une solution intéressante pour de nombreuses applications (voir section 1.2). Les propriétés des non-tissés dépendent de nombreux facteurs, tels que la sélection appropriée des matières premières, la méthode de production utilisée et les traitements de finition appliqués ultérieurement, comme l'impression, le gaufrage, le moulage, le laminage, etc. Cependant, leurs propriétés les plus typiques sont :

- Réponse mécanique : élastique, résiliente, lisse, douce, rigide, extensible, solide et stable.
- Poids : Léger par définition, mais on peut obtenir des tissus denses si nécessaire.
- Technique : résistance à l'abrasion, résistance à la déchirure, résistance aux flammes, isolation phonique et thermique, absorption ou répulsion des liquides (selon le type de fibre ou de traitement).
- Durabilité : ils peuvent avoir une durée de vie courte ou longue, selon l'utilisation finale, et peuvent même être biodégradables.
- Porosité : ils peuvent être respirants ou imperméables selon le traitement appliqué, ils peuvent donc avoir des propriétés de filtration.
- Facilité de traitement : ils peuvent être soudés, cousus, collés, teints, lavés, repassés, moulés, etc.

Dans certaines catégories, les propriétés opposées sont présentées, ce qui prouve la grande polyvalence des non-tissés en raison des multiples combinaisons de matières premières, de procédés de fabrication et de traitements de finition. En fait, leurs propriétés peuvent être personnalisées

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

pour créer des solutions adaptées à des applications spécifiques, en atteignant généralement un bon équilibre entre la durée de vie du produit et son coût, ce qui constitue leur atout le plus remarquable.

1.2. Applications

Les non-tissés sont utilisés dans un large éventail d'applications dans tous les domaines textiles, de la mode aux produits textiles techniques. Dans le domaine de la mode, les non-tissés sont utilisés pour : les entoilages (à l'intérieur des vêtements) pour le maintien de la forme et pour augmenter la rigidité de certaines parties ; les stabilisateurs de fond pour la broderie, pour éviter d'endommager le tissu en raison de l'action de l'aiguille ; les composants de chaussures et de sacs, généralement des entoilages pour renforcer les tissus esthétiques, ou le fond des cuirs synthétiques ; ou même comme décorations ou tissus extérieurs dans les vêtements de mode, par exemple.

Cependant, de nos jours, ils sont surtout utilisés dans des applications techniques telles que [2]

- Agrotextiles : comme couvertures de cultures, tissus de désherbage, protection des plantes, ombrage de serres, pots de plantes en textile, etc. car leur nature protectrice réduit le besoin de pesticides et de travail manuel, améliore la qualité des cultures et crée un microclimat dans lequel la chaleur et l'humidité sont contrôlées, outre leur faible coût.
- Géotextiles : comme revêtements de canaux et d'étangs, tissus de stabilisation et de renforcement des sols, couches de drainage, tissus de contrôle des fuites, etc. où il est nécessaire de couvrir de grandes surfaces d'où le coût par surface et la disponibilité en grandes quantités deviennent des paramètres clés. Les non-tissés offrent une production facile et rapide, la disponibilité de grandes quantités, la durabilité et la résistance, à un faible coût.
- Textiles médicaux et de santé : dans les couches, les produits d'hygiène féminine ou les produits jetables utilisés dans le secteur médical, tels que les bonnets, blouses, masques, tenues de bloc et couvre-chaussures jetables, principalement en raison de leur faible coût, de leur douceur et de leur résistance ; mais aussi pour des applications plus techniques dans le secteur de la santé, telles que les éponges, les blouses de contrôle de la contamination, les blouses d'examen, les blouses de laboratoire, les blouses d'isolement, l'administration transdermique de médicaments, les enveloppes de stérilisation, etc.

Mais également, en raison de leur polyvalence et de leurs spécifications techniques, les non-tissés sont utilisés dans de nombreux autres secteurs tels que : l'automobile (isolation des voitures, tapis, revêtements de sol, sièges, garnitures intérieures, filtres, etc.) ; le bâtiment (isolation thermique et acoustique, toitures, pare-vapeur, revêtements de sol, renforcement du béton, etc.) ; ou les produits ménagers (abrasifs, meubles et revêtements, sachets de thé, lingettes de nettoyage, etc. En outre, de nombreuses applications potentielles découlent du domaine des textiles intelligents.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2. Technologies conventionnelles de production de non-tissés

Le processus de fabrication d'un non-tissé est généralement décrit en trois étapes: formation de la nappe, collage de la nappe et finition. La première étape (formation de la nappe) consiste à préparer un voile de fibres aléatoires. Dans la deuxième étape (collage de la nappe), la consolidation de la voile est réalisée par le collage des fibres. Enfin, la troisième étape est l'application de traitements de finition.

Tableau 1. Technologies de production de non-tissés

Formation de la nappe	Collage de la nappe	Finition
Voie sèche Cardage Air-laid	**Voie chimique** Imprégnation avec des liants	Lavage Revêtement Impression Teinture
Voie humide Suspension dans une bande criblée	**Voie thermique** Calandrage Air chaud	
Voie filée-fondue (extrusion) Voie filée-laminée Voie fondue-soufflée	**Voie mécanique** Consolidation par aiguilletage Hydro-enchevêtrement (spunlacing) Collage de points	

Il existe plusieurs technologies disponibles pour chacune de ces étapes (présentées dans le tableau 1), et de nombreuses combinaisons possibles, bien que leur utilisation dépende principalement de la nature propre des fibres et des propriétés attendues pour le produit résultant.

2.1. Technologies de formation de la nappe

Les technologies de formation de voile sont principalement classées en 3 catégories :

1. Les procédés de pose à sec, basés sur l'ancien procédé de feutrage textile. Les fibres sont à l'état sec lors de la formation de la nappe.
2. Les procédés Wet-lay, basés sur la méthode de fabrication du papier (mais avec des fibres plus longues). Les fibres sont en suspension dans un liquide pendant la fabrication.
3. Les procédés Spun-melt, également appelés procédés d'extrusion ou de polymer-lay, basés sur une méthode d'extrusion de polymère. Ici, le filament est produit par la fusion et l'extrusion de granules de polymères thermoplastiques ; dans le même temps, le voile est obtenu.

Voie sèche

La voie sèche peut traiter des fibres naturelles, des fibres synthétiques discontinues ou même des fibres recyclées (à condition de respecter une longueur minimale), ce qui en fait une technologie très polyvalente. Comme le montre le tableau 1, il existe deux technologies clés dans la voie sèche :

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Le cardage. Dans la carde, une série de rouleaux dentés démêle les touffes alimentées dans la machine pour produire la séparation des fibres, les mélanger et former un voile fin et homogène. Le voile résultant peut être croisé sur un convoyeur pour produire un voile plus épais. Comme elles passent à travers les rouleaux dentés, les fibres doivent avoir une longueur minimale déterminée par la distance entre les rouleaux. De plus, les fibres reçoivent une certaine parallélisation, ce qui assure une orientation préférentielle des fibres dans le voile, ce qui conduit souvent à des non-tissés moins isotropes.
- Air-laid. Dans ce cas, les fibres sont dispersées dans un flux d'air et déposées sur une bande transporteuse par pression ou par aspiration. Le voile obtenu peut, dès lors, avoir l'épaisseur souhaitée, et l'orientation aléatoire des fibres favorise l'obtention d'un non-tissé plus isotrope. En outre, elle permet de traiter une gamme plus large de longueurs de fibres (même courtes). Pour cette raison, le procédé air-laid est probablement la meilleure technologie pour traiter les fibres recyclées (souvent plus courtes et avec une large distribution de longueur).

Voie humide

La voie humide est conçue pour traiter les fibres synthétiques et naturelles courtes. Le procédé par voie humide consiste à disperser les fibres dans l'eau, puis à les déposer sur un tamis ou une grille en mouvement afin d'évacuer l'eau, formant ainsi la nappe de fibres. Ce procédé peut conduire à un certain degré d'orientation des fibres, qui peut se traduire par une isotropie moindre du non-tissé résultant. Ce phénomène peut être évité/minimisé grâce à la conception même de l'équipement, et actuellement ce procédé permet de produire des non-tissés très uniformes à des vitesses très élevées.

La voie du spun-melt

Le procédé de filage-fusion peut traiter les polymères thermoplastiques et est une combinaison des technologies de filage et de formation de bande. Comme le montre le tableau 1, il existe deux technologies principales (bien que la technique d'électro filage qui sera expliquée plus tard puisse également être incluse dans cette catégorie) :

- Spun-laid. Ce procédé génère la bande par extrusion du polymère à travers des filières, formant des filaments continus qui sont directement déposés sur un écran mobile. En raison de la chaleur résiduelle dans les filaments, on obtient un certain collage aux points de croisement des fibres. Le dépôt des filaments est aléatoire et, normalement, les non-tissés obtenus présentent une bonne isotropie.
- Meltblown. Le procédé Meltblown est très similaire au spun-laid, mais dans ce cas, il utilise des filières plus fines combinées à de l'air chaud pour former des filaments plus fins. De ce fait, les filaments ont tendance à se briser à terme, ce qui différencie également le non-tissé résultant, typiquement caractérisé par la présentation d'une surface très élevée en raison de l'épaisseur réduite des fibres. Une bonne isotropie est également attendue pour les non-tissés soufflés à l'état fondu.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.2. Technologies de collage des nappes

Les nappes, une fois formées, peuvent être liées (ou consolidées) par des moyens chimiques, thermiques ou mécaniques. Il convient de mentionner que le procédé de consolidation des bandes ne dépend pas du procédé utilisé pour la formation de la nappe, et qu'il existe de nombreuses combinaisons possibles. À propos des trois principales voies :

- La voie chimique utilise des produits chimiques comme adhésifs (ou liants) pour générer le collage.
- La voie thermique utilise la chaleur pour faire fondre partiellement la nappe, ce qui génère le collage entre les fibres aux endroits où elles se croisent.
- La voie mécanique utilise des jets d'eau, des aiguilles barbelées ou des fils auxiliaires pour enchevêtrer physiquement les fibres, ce qui lie la bande.

Voie chimique

La voie chimique peut être utilisée pour tout type de fibre (naturelle ou synthétique) en sélectionnant le liant approprié. La seule exigence est que le voile doit pouvoir être imprégné, par tout moyen, du produit. Ce type de liant peut être utilisé pour les nappes à sec, par voie humide ou par filage-fusion, mais il est généralement utilisé en combinaison avec l'air-laid.

Comme les liants peuvent être solides (comme la poudre), liquides ou même sous forme de mousse, il existe de multiples techniques pour les appliquer, notamment le collage par mousse, par pulvérisation et par impression [3]. Ce sont, en fait, des techniques d'imprégnation largement utilisées dans de nombreux domaines de l'industrie textile. Les différences les plus importantes entre les méthodes mentionnées sont le degré d'imprégnation atteint, car cela affecte les propriétés du non-tissé résultant. Par exemple, le collage par saturation recouvre complètement les fibres avec le liant, ce qui augmente la rigidité globale, tandis que le collage par impression applique le liant dans des zones limitées, ce qui entraîne une plus grande perméabilité [3].

Voie thermique

Le collage thermique nécessite des fibres thermoplastiques polymères capables de fondre à des températures relativement basses pour fonctionner. Par conséquent, il ne peut être utilisé que sur des bandes fabriquées avec un tel matériau (comme les bandes soufflées à l'état fondu ou les bandes obtenues par filage), ou sur des bandes fabriquées par d'autres procédés de formation de bandes avec une teneur minimale en fibres thermoplastiques. Dans ces cas, typiquement, quelques fibres à basse température de fusion sont ajoutées au mélange, comme liants pour poursuivre les processus de collage thermique.

Le collage thermique comprend, entre autres :

- Le collage à l'air chaud. Également connu sous le nom de collage à travers l'air. Dans ce cas, de l'air chauffé circule à travers des trous, pénétrant dans le tissu de fibres libres, faisant

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

fondre les fibres thermoplastiques de la surface, et réalisant le liage au niveau des croisements de fibres. Le non-tissé obtenu tend à présenter une structure stable.

- Calandrage. Consiste à faire passer le voile de fibres libres à travers deux rouleaux qui, sont au moins l'un d'entre eux, est à haute température, et qui appliquent une certaine pression. Cela compacte la bande, et les points en contact avec le ou les rouleaux chauffés fondent, assurant le collage. Les rouleaux, très souvent, sont gaufrés pour laisser des motifs spécifiques de points en forme (par exemple, en forme de carré ou de diamant). Les rouleaux profilés ont tendance à produire des non-tissés plus flexibles, car il y a des zones non fusionnées sur toute la surface du non-tissé.

D'autres techniques basées sur le soudage (comme le soudage par ultrasons) sont également des technologies de collage thermique.

Voie mécanique

La voie mécanique peut être utilisée avec n'importe quel type de fibre (naturelle ou synthétique) comme la voie chimique, mais dans ce cas, le liant n'est pas nécessaire, puisque ce sont les propres fibres qui génèrent la liaison du tissu en raison de leur enchevêtrement (sauf dans le cas de la liaison par piqûre). À cette fin, les fibres doivent avoir une certaine longueur et une certaine souplesse pour conserver efficacement l'enchevêtrement et, partant, la consolidation du non-tissé. Le collage mécanique comprend :

- Le poinçonnage à l'aiguille. Il s'agit d'une technologie propre, rapide et peu coûteuse, basée sur l'action d'aiguilles barbelées qui oscillent verticalement, traversant le voile, transportant des touffes de fibres, générant l'enchevêtrement physique. Au fur et à mesure que la bande avance dans le métier à aiguilles, davantage de fibres s'enchevêtrent, de sorte que la structure consolidée du tissu se forme. Cette méthode est souvent utilisée dans les nappes de tissu posées à sec et également dans les nappes de tissu filées.
- L'hydro-enchevêtrement. Est également connu sous le nom de spunlacing, et utilise des jets d'eau travaillant à haute pression pour enchevêtrer les fibres libres du voile, qui est placé sur une bande transporteuse poreuse ou similaire. Bien qu'il puisse être utilisé pour n'importe quel type de bande, il est plus souvent utilisé pour les bandes en voie humide et en voie sèche. Comme il n'y a pas besoin de produits chimiques auxiliaires, il peut être considéré comme une alternative verte.
- Stitchbonding. Cette méthode utilise un fil auxiliaire, piqué au moyen de techniques de tricotage en chaîne, pour consolider la bande. Grâce à cela, l'aspect et les performances du non-tissé obtenu se rapprochent du comportement d'un tissu tricoté.

3. Nouvelles tendances dans la production de non-tissés

Après l'aperçu des technologies conventionnelles de production de non-tissés, il est possible d'énoncer quelles sont, aujourd'hui, les nouvelles tendances dans la production de non-tissés. Celles-

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ci s'articulent principalement autour de trois piliers clés : les dernières technologies développées (par exemple, l'électrofilage), la durabilité et l'industrie 4.0.

3.1. L'électrofilage pour la production de non-tissés

L'électrofilage est une technique de filage basée sur l'utilisation de forces électrostatiques élevées pour produire des fibres continues dont le diamètre varie du micron au nanomètre. Cependant, ces nanofibres sont collectées sur une surface mise à la terre. Selon la forme et la taille du collecteur, les nanofibres peuvent présenter une distribution aléatoire qui correspond à une structure non tissée.

Après le dépôt, les charges sont rapidement dissipées, mais la faible conductivité de la plupart des matériaux utilisés peut limiter cette dissipation, entraînant des modifications résiduelles à la surface des fibres déposées qui peuvent produire une répulsion du jet en raison de la similarité de leurs charges. Cet effet n'affecte pas seulement le comportement du jet électrifié, mais limite également l'épaisseur du tapis non tissé à environ 0,5-1 mm [4].

De nombreux paramètres affectent le processus d'électrofilage, depuis les conditions environnementales (humidité relative, température), jusqu'à la solution de polymère utilisée (concentration du polymère, viscosité, conductivité du solvant et de la solution), en passant par tous les réglages de l'équipement (tension appliquée, débit de la solution, type de collecteur, distance entre l'aiguille et le collecteur, ou diamètre de l'aiguille, entre autres) [5]. Les effets de ces paramètres affectent non seulement le diamètre, la morphologie et la régularité des fibres, mais aussi la distribution des fibres, l'épaisseur et la porosité de la structure obtenue, entre autres, définissant ainsi les propriétés finales du non-tissé résultant.

Un domaine d'application très important pour les non-tissés électrofilés est la filtration. Ce sujet a été d'un intérêt particulier pour la production de masques plus sûrs pour la protection Covid-19. En effet, l'électrofilage permet la production de membranes poreuses constituées de nanofibres très poreuses, donc avec des capacités de double filtration. Néanmoins, les non-tissés électrofilés peuvent être utilisés dans d'autres applications très intéressantes telles que la désalinisation, les nanocapteurs électroniques ou, dans le domaine médical, comme substrats pour les systèmes d'administration de médicaments, dans la régénération des tissus, ou comme pansements ou échafaudages, entre autres [5].

3.2. Non-tissés durables

L'utilisation de tissus non tissés est souvent associée à la production de produits jetables ou à courte durée de vie. En ce sens, les non-tissés sont d'excellents matériaux en raison de leur faible coût et de leur facilité de fabrication. Cependant, près de 70% des matériaux utilisés pour la production de non-tissés (tant les liants que les fibres) sont synthétiques. La combinaison de ces deux facteurs, matières premières synthétiques dans des produits jetables, entraîne des problèmes de jetabilité et de contamination par les microplastiques, entre autres.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Ainsi, la conscience environnementale actuelle a poussé l'industrie des non-tissés à développer, mettre en œuvre ou promouvoir des approches plus durables telles que : l'augmentation de la durabilité des produits non-tissés, le passage du concept "jetable" au concept "réutilisable" [6], ou l'utilisation de matières premières recyclées ou biosourcées.

Les propriétés propres des non-tissés peuvent également être améliorées pour augmenter leur durabilité, réduire le besoin de liants ou atteindre des spécifications très techniques. Cela peut se faire, par exemple, en augmentant les capacités de liaison des fibres naturelles, en favorisant les non-tissés cellulosiques auto-liés avec des liquides ioniques, ou en utilisant des enzymes ou du plasma pour minimiser la quantité de liants nécessaires [3].

Le concept de circularité touche également le domaine des non-tissés. L'idée est, en gros, qu'une fois qu'une pièce du produit arrive en fin de vie, elle peut être transformée en matière première nécessaire à la production de la pièce suivante, en ne laissant idéalement aucun déchet derrière elle. Il faut tenir compte du fait que le choix des matières premières n'affecte pas seulement les propriétés des non-tissés, mais aussi leurs possibilités de recyclage ultérieur, et donc leur circularité.

Les problèmes d'élimination des textiles de mode avant et après consommation incitent les chercheurs et les industries à trouver des solutions alternatives pour ce type de déchets. Bien que, dans le cadre d'une économie circulaire, ils seraient retransformés en tissus pour la fabrication de vêtements, la réalité est bien plus complexe, et cette option n'est pas toujours envisageable. Ils présentent des problèmes de classification et de séparation des fibres, et les technologies permettant de les traiter sont relativement limitées.

Une solution classique pour ces déchets consiste à déchiqueter les vêtements pour obtenir des fibres retraitées, puis à utiliser ces fibres pour obtenir des non-tissés destinés à l'isolation dans les secteurs du bâtiment et de l'automobile, ainsi qu'au rembourrage et à des applications similaires. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une approche nouvelle, ces options gagnent en popularité et l'utilisation de ces structures pour le renforcement des composites retient l'attention des chercheurs.

En outre, ces dernières années, on a observé une augmentation de l'utilisation de fibres recyclées pour la production de non-tissés. Les fibres de polyester obtenues à partir du recyclage des bouteilles en PET en sont un exemple [7]. S'agissant d'un matériau thermoplastique, on peut s'attendre à une certaine circularité si ces fibres sont utilisées dans des non-tissés sans être mélangées à d'autres fibres et, idéalement, transformées par des procédés ne nécessitant pas de liants.

3.2.1. Non-tissés biosourcés

Comme indiqué précédemment, environ 67% de la production de non-tissés correspond aujourd'hui à des polymères synthétiques vierges (tels que le polypropylène et le polyester, entre autres). Toutefois, les polymères biosourcés (tels que la pâte de bois et la viscose) représentent 20 % des matières premières, suivis par 12 % de polyester recyclé [7]. Cette tendance s'inscrit dans le cadre de

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

la tendance mondiale à une production plus écologique, soulignant que c'est également le cas du secteur des non-tissés.

Dans ce contexte, les matériaux biosourcés (qui sont généralement renouvelables et biodégradables) constituent l'alternative la plus prometteuse aux matières premières pétrochimiques dans la production de non-tissés. L'accent est mis sur les matériaux lignocellulosiques (tels que les fibres traditionnelles, les fibres de cellulose régénérée, les liants à base de lignine et les nanomatériaux dérivés du bois), mais d'autres possibilités intéressantes sont également disponibles, comme les fibres d'acide polylactique (PLA) ou les liants à base de polyhydroxyalcanoate (PHA).

3.2.2. Fibres biosourcées

Les fibres biosourcées suscitent l'intérêt pour la production de non-tissés plus durables. Selon une étude récente de Santos, Ferreira et Maloney [3], il s'agit des fibres suivantes :

Les fibres végétales, qui sont souvent traitées par des techniques d'air-laid et wet-laid et liées avec des liants biodégradables ou hydrosolubles, étant les plus courantes :

- Le coton, pour les applications liées à l'absorption (notamment le coton biologique).
- Le chanvre, pour les applications d'isolation automobile et de bâtiment.
- Le lin, pour le renforcement des composites.
- Le jute, pour le renforcement des composites, l'isolation et les géotextiles.
- Le bambou, pour les composites mais aussi pour les applications de soins de santé s'il est associé à d'autres fibres.
- Les fibres issues des déchets agricoles (comme la paille, la bagasse de canne à sucre, les fibres de maïs, de noix de coco ou de palmier à huile, et bien d'autres) pour les composites et les agrotextiles, entre autres.

Les fibres de pâte de bois, qui sont renouvelables, abondantes et rentables. Elles sont traitées par les technologies de lamination à l'air, mais aussi par lamination humide, suivies d'une liaison chimique. Leur utilisation la plus courante est celle des produits absorbants jetables.

Les fibres cellulosiques artificielles, également appelées fibres de cellulose régénérée, qui sont obtenues par filage de dissolutions de cellulose. Bien qu'elles soient fabriquées par l'homme, elles ne sont pas considérées comme du plastique et présentent un potentiel de biodégradation et de recyclage plus élevé avec de bonnes performances techniques. C'est le cas de :

- La viscose (ou rayonne), pour les lingettes filées, les applications de santé ou les renforts, entre autres.
- Le lyocell (une sorte de viscose obtenue par un processus plus écologique), pour les produits d'hygiène.
- Les fibres d'acétate de cellulose, pour les filtres à cigarettes.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

D'autres fibres à base de plantes, d'animaux et de fermentation microbienne, peuvent également être utilisées comme matières premières pour le développement de non-tissés plus durables. Il s'agit d'alternatives telles que :

- Les fibres d'alginate,
- Les fibres de chitosan, pour les applications médicales.
- Les fibres PLA, pour un large éventail d'applications dans les secteurs de la santé, du médical, de l'agrotextile et de l'emballage, entre autres. Étant donné que le PLA est un biopolymère thermoplastique et biodégradable disponible sur le marché et doté de bonnes propriétés, il présente un grand potentiel à court terme pour la production de non-tissés durables.

3.2.3. Liants biosourcés

En ce qui concerne les produits liants utilisés pour le collage des bandes, les liants biosourcés peuvent être utilisés pour remplacer les liants synthétiques, car ils peuvent présenter des comportements équivalents avec ou sans traitement. En voici quelques exemples [3] :

- Les liants à base de fibres d'acétate de cellulose.
- Les liants à base de fibres de PHA
- La suspension de cellulose bactérienne.
- Les solutions à base d'alginate.
- Les dispersions de bio-latex
- Dispersions aqueuses ou solutions polymères à base d'amidon et d'amidon, non toxiques, biodégradables et peu coûteuses.
- Adhésifs à base de lignine et de tanin.
- Résines biosourcées à base de protéines de soja.
- Polymères à base de protéines de graines de coton et de plusieurs gommes naturelles.
- La cellulose microfibrillée, les nanocristaux de cellulose et la cellulose bactérienne.

3.3. L'industrie 4.0 pour la production de non-tissés

L'industrie 4.0 est considérée comme la quatrième révolution industrielle en cours, permet une automatisation accrue des processus de production, ce qui aide les entreprises à améliorer l'efficacité de leur production et leur consommation d'énergie et de ressources, tout en disposant d'informations en temps réel sur le processus de fabrication. En effet, les technologies de l'industrie 4.0 sont basées sur des machines intelligentes connectées à Internet (Internet des objets ou IoT), avec un fonctionnement amélioré des machines pour obtenir une consommation d'énergie intelligente, déterminer les besoins de maintenance prédictive, travailler avec des systèmes d'assistance pour la maintenance, la réparation et l'exploitation, et contrôler la production avec des systèmes avancés de contrôle des processus, le tout avec l'aide de l'analyse des big data [8].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Comme on a pu le constater lors de la dernière ITMA, qui s'est tenue en 2019 à Barcelone, l'industrie 4.0 a été le pilier du développement de la plupart des industries textiles ces dernières années, y compris dans le secteur des non-tissés. L'incorporation dans les équipements de production de l'apprentissage automatique, de l'IoT, de l'analyse des big data ou des systèmes d'assistance, est actuellement une réalité. Les points les plus pertinents pour la mise en œuvre de l'industrie 4.0 dans la production de non-tissés sont [8] :

- L'auto-optimisation des machines pour réduire la production de déchets, la consommation d'énergie et les temps d'arrêt des machines.
- L'analyse des big data pour réduire le temps d'arrêt des machines.
- Des systèmes d'assistance pour réduire les temps d'arrêt des machines et augmenter l'efficacité de la main-d'œuvre.

4. Défis et opportunités pour les textiles non tissés

Le marché mondial des non-tissés, même dans le cadre de la pandémie de Covid, a été estimé à 38,3 Md$ en 2020, augmentant de 6,9 % les résultats de l'année précédente [9]. Les analystes en attribuent la raison à l'explosion de la demande de masques faciaux et d'autres articles textiles médicaux, qui a été un moteur essentiel du marché des non-tissés.

La pandémie de Covid-19 a entraîné des changements importants dans tous les marchés et tendances. Ce phénomène, associé à l'intérêt croissant des consommateurs finaux pour leurs propres habitudes de consommation et pour les questions de durabilité, modifie la manière dont les produits sont conçus, développés et commercialisés. Comme l'a souligné Nick Carter, (directeur de l'intelligence économique et de la propriété intellectuelle chez Avgol) : "Les consommateurs qui, historiquement, sélectionnaient les produits sur la base de choix assez logiques prennent désormais des décisions d'achat qui considèrent les valeurs de la marque et les styles de vie comme des priorités" [10], et les produits à base de non-tissé ne font pas exception.

Les masques pour la protection de Covid-19 en sont un bon exemple. Une fois les moments les plus critiques de pénurie passés, après les exigences évidentes de sécurité, la durabilité est devenue l'un des facteurs de sélection les plus importants avec l'esthétique (parfois même avant le prix) pour de nombreux individus et entités.

D'autres défis qui méritent d'être mentionnés sont le besoin de différenciation et l'unité de stockage [10]. En ce qui concerne la différenciation, dans le domaine des non-tissés, cela signifie souvent le positionnement du produit par ses spécifications et la recherche de nouveaux développements et applications. En ce qui concerne l'unité de stockage, les séries de production ont tendance à être plus courtes, et ce système permet d'avoir une plus grande variété de produits disponibles pour les consommateurs, mais présente également certains inconvénients le long de la chaîne

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

d'approvisionnement en raison de la complexité accrue, des coûts supplémentaires et des attentes de délais de livraison plus courts.

Cependant, le secteur des non-tissés a connu une forte croissance ces dernières années, grâce au faible coût, à la facilité de production, à l'innovation et au développement du matériau, ce qui a positionné les textiles non-tissés comme l'alternative préférée, avant les tissus et les tricots, pour de nombreux produits de grande valeur. Les opportunités pour ce type de produits textiles découlent donc de la recherche et du développement afin de garantir que les non-tissés puissent répondre aux attentes en matière de solutions hautement techniques et/ou de produits plus durables.

Références

[1] ISO/TC 38, "ISO 9092 : 2019 Nonwovens — Vocabulary." 2019.

[2] M. Tausif, "Application Based Approach Of Nonwoven Industry." [Online]. Disponible sur : https://www.technicaltextile.net/articles/application-based-approach-of-nonwoven-industry-7523. [Consulté Juillet 20, 2021].

[3] A. S. Santos, P. J. T. Ferreira, and T. Maloney, "Bio-based materials for nonwovens," Cellulose, vol. 28, no. 14, pp. 8939–8969, Sep. 2021.

[4] J. Xue, T. Wu, Y. Dai, and Y. Xia, "Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications," Chem. Rev., vol. 119, no. 8, pp. 5298–5415, Apr. 2019.

[5] A. Haider, S. Haider, and I.-K. Kang, "A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology," Arab. J. Chem., vol. 11, no. 8, pp. 1165–1188, Dec. 2018.

[6] B. Pourdeyhimi, "Nonwovens: Current Trends & Opportunities," Textile World Features, 2019. [Online]. Disponible sur : https://www.textileworld.com/textile-world/features/2019/02/nonwovens-current-trends-opportunities/. [Consulté : Juin 15, 2021].

[7] Edana, "Nonwovens industry pledges uptake in use of recycled PET," 2018.

[8] F. Cloppenburg, A. Münkel, Y. Gloy, and T. Gries, "Industry 4.0 – How will the nonwoven production of tomorrow look like?," IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 254, no. 13, p. 132001, Oct. 2017.

[9] Index Box, "World - Nonwoven Fabric - Market Analysis, Forecast, Size, Trends and Insights Update: COVID-19 Impact," Report abstract, 2021. [Online]. Disponible sur : https://www.indexbox.io/blog/global-nonwoven-fabric-market-2021-key-insights/ [Consulté : Septembre 01, 2021].

[10] N. Carter, "2020 Trends in Nonwovens," Nonwovens Industry, 2019. [Online]. Disponible sur : https://www.nonwovens-industry.com/issues/2019-12/view_features/2020-trends-in-nonwovens/ [Consulté : Juin 15, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

1. **Question 1** : Les tendances actuelles de la production de non-tissés...

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) ... sont fortement influencées par la sensibilisation croissante à l'environnement
b) ... n'envisagent pas la mise en œuvre des technologies de l'industrie 4.0 pour améliorer l'efficacité de la production de non-tissés
c) ... n'envisagent pas l'utilisation de matières premières recyclées car elles présentent des difficultés techniques.

2. **Question 2** : Laquelle des technologies de production de non-tissés suivantes est la plus polyvalente pour traiter les fibres régénérées qui présentent un mélange de fibres naturelles et synthétiques ?

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) Air-laid + imprégnation de liant
b) Filé-lié + aiguilletage
c) Voie humide + calandrage

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 1.3 Progrès dans la production de tricots

Mariana Ursache
TUIASI

1. Avancées dans la production de tricot

Le tricotage est une technologie polyvalente qui repose sur le bouclage successif de fils et l'entrelacement de ces boucles avec les précédentes pour former des mailles. Le tricotage trame se caractérise par le bouclage successif d'un ou de plusieurs fils dans le sens horizontal (parcours), tandis que dans le tricotage chaîne, le bouclage successif se fait dans le sens vertical (colonne) pour au moins un système de fils. La figure 1 présente une classification générale des technologies du tricotage trame et du tricotage chaîne.

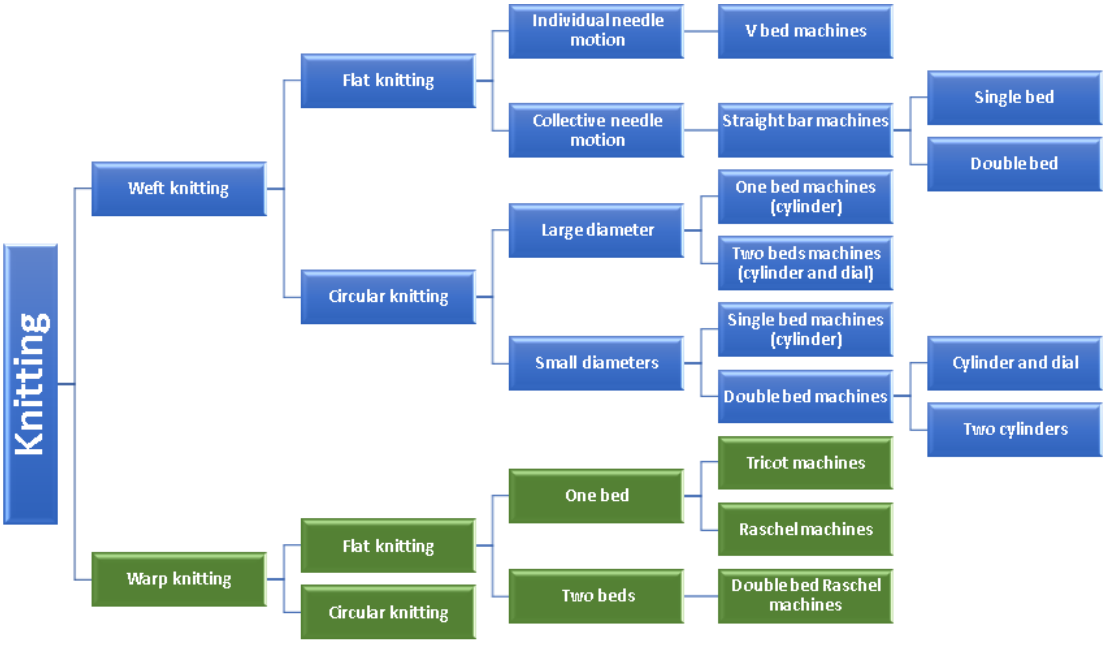


Figure 1. Classification générale des technologies de tricotage

La pertinence des technologies du tricot et de leurs produits dans l'industrie d'aujourd'hui ne fait aucun doute. Les produits tricotés couvrent une large gamme de produits, y compris l'habillement, la décoration, et pour le domaine technique et fonctionnel/intelligent. Les progrès réalisés au cours des deux dernières décennies ont vu :

- L'expansion des possibilités techniques et de la qualité des tissus/produits, car les éléments et dispositifs de tricotage ont été/sont continuellement améliorés,

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- La diversification des formes des tissus et le tricotage de produits intégraux à l'architecture 3D complexe,
- La diversification des matières premières, depuis les nouvelles fibres, les mélanges et les fils à effets spéciaux jusqu'aux fibres à haute performance telles que le verre, le carbone, le métal, etc.
- Le développement de nouvelles structures ou l'adaptation de technologies qui n'étaient pas auparavant capables de produire de tels motifs.
- Le développement de tricots techniques et fonctionnalisés/intelligents pour une immense gamme d'applications en dehors des domaines traditionnels, comme le médical, le renforcement des composites, les sports et loisirs, l'emballage, les e-textiles, etc.

Ce chapitre est consacré aux avancées les plus représentatives dans le domaine du tricotage chaîne et trame. Il existe plusieurs sociétés produisant des équipements de tricotage, mais les acteurs les plus importants sont : Shima Seiki (Japon) et STOLL (Allemagne) pour le tricotage en trame plate, Mayer & Cie, Terrot (Allemagne), Monarch (États-Unis), Pai Lung (Chine) et Santoni (Italie) pour le tricotage circulaire et Karl Mayer (Allemagne) pour le tricotage en chaîne.

2. Progrès de la technologie du tricotage

Le processus de fabrication des vêtements en tricot rectiligne peut être divisé en trois méthodes de production différentes : cut & sew ; fully fashioned garment/ integral fully fashioned ; seamless technologies / integral knitting (concepts Wholegarment / Knit & Wear). La méthode Cut & Sew est commune au tricotage trame circulaire et au tricotage chaîne, car ces machines fournissent des feuilles tubulaires/plates continues de tissu tricoté dont la longueur dépend de la capacité de stockage de tissu de la machine. Dans le cas des machines à tricoter à trame plate et de certaines machines circulaires, le tricotage se fait en panneaux droits qui doivent être coupés et cousus. En façonnant les panneaux entièrement à la forme des pièces du produit, en tricotant sur un nombre variable d'aiguilles (rétrécissement et agrandissement), l'opération de coupe est éliminée, ce qui réduit considérablement les déchets industriels. Actuellement, cette méthode de production est la plus courante pour le tricotage rectiligne.

Les technologies sans couture/intégrales sont devenues de plus en plus populaires, étant considérées comme une alternative au tricotage conventionnel. Leurs principaux avantages sont un meilleur ajustement et un plus grand confort grâce au façonnage 3D, un meilleur drapé grâce à l'élimination des coutures, une production à réponse rapide et une utilisation minimale de matériaux grâce à la construction d'une seule pièce, ce qui permet de développer un design "zéro déchet". Cette méthode est encore limitée par les longs délais de production et la complexité du processus de tricotage et de l'entretien des machines. Le concept du tricotage intégral est basé sur la capacité à tricoter des tubes de structures différentes et de tailles/formes variables qui doivent être connectés [1]. Cela nécessite le contrôle de la position des mailles sur les aiguilles par des platines et un transfert amélioré qui assurera la connexion entre les tubes.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les machines à tricoter circulaires sans couture diffèrent des machines à tricoter rectilignes sans couture. Ils peuvent produire plus d'un tube qui doit être joint. Les vêtements complets tricotés sur des machines circulaires peuvent également ne nécessiter qu'une opération de coupe minimale. La mise en forme est également obtenue en utilisant différentes structures/motifs qui influencent les dimensions du tissu. En outre, les machines circulaires sans couture nécessitent différents diamètres pour s'adapter à la taille du vêtement. Par conséquent, le tricotage sans couture sur des machines circulaires n'est pas un véritable tricotage sans couture. Les produits tricotés sont utilisés pour l'habillement (vêtements de dessus et sous-vêtements), les vêtements de sport, ainsi que les produits médicaux et les chaussures [2].

Karl Mayer, leader dans le domaine des machines à tricoter chaîne, a développé des machines à tricoter chaîne à double barre (série Smart Tronic® de machines à double barre d'aiguilles avec technologie Piezo-Jacquard) capables de produire des articles sans couture [3]. Les produits sans couture sont obtenus en tricotant séparément sur les deux bancs pour former des tubes de longueur et de largeur prédéfinies, correspondant à la longueur et à la largeur du tissu.

Le tricotage intégral/sans couture nécessite également de maintenir les mailles sur les aiguilles, ce qui est réalisé à l'aide d'un système de platines mobiles, chaque platine étant contrôlée individuellement par des ressorts. La position des mailles tout au long du tricotage intégral/sans couture peut également être contrôlée pendant les cycles de tricotage à l'aide d'un dispositif de pressage : un presseur de mailles de Shima Seiki avec un système motorisé qui permet aux presseurs d'effectuer des réglages individuels marche/arrêt tant en tricotage qu'en transfert, dans les deux sens du parcours. Stoll utilise un pied presseur pour contrôler la position de la maille tant pour le tricotage que pour le transfert.

Stoll a introduit les machines ADF au début de la décennie 2010. Cette innovation fait référence aux porte-fils qui se déplacent indépendamment du chariot et dont la position horizontale et verticale est programmée par des servomoteurs. Un seul porte-fil peut être utilisé pour toutes les techniques de tricotage, ce qui permet de diversifier les motifs. Cela permet une diversification importante des possibilités de motifs (comme le placage inversé, le placage intarsia, le placage sélectif, le placage Stoll-ikat®, le Stoll-weave-in®, etc.) Dans le prolongement de sa série de concepts Knit & Wear [3], Stoll a lancé un modèle ADF 830-24 KI W KNIT&WEAR capable de tricoter des produits intégraux avec les avantages mentionnés ci-dessus [5].

En termes de mécanismes d'alimentation, le principal problème du tricotage en trame plate est le contrôle précis de la tension du fil. Shima Seiki a mis au point un nouveau système numérique de contrôle des mailles i-DSCS+DTC [6] capable de contrôler activement l'alimentation du fil dans les deux sens, en fonction des besoins, grâce à un contrôle électronique variable de la tension du fil. Ce contrôle numérique permet d'élargir la gamme de fils pouvant être traités sur les machines à tricoter (fils fantaisie, fils extensibles, fils bouclés et cachemires délicats), ainsi que la qualité du tissu et le respect de la documentation technique. Stoll utilise une roue d'alimentation à friction pour contrôler l'uniformité de la tension du fil d'alimentation et la maintenir à des valeurs inférieures. Les variations

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

des dimensions des points sont possibles grâce aux dispositifs Flexible Stitch et PTS (Power Tension Setting) qui permettent d'obtenir différentes tensions dans une rangée.

Le tirage est un autre problème de la plus haute importance pour le tricotage intégral 3D, car il doit garantir que chaque maille subit la même force de tirage. Les systèmes de dépose comprennent le peigne, les rouleaux de dépose principaux et les rouleaux auxiliaires placés sous la zone de tricotage. Par exemple, Shima Seiki a mis au point un nouveau système de tirage informatisé composé de panneaux avant et arrière sur lesquels sont réparties de minuscules broches permettant de contrôler séparément la tension de tirage pour l'avant et l'arrière lors du tricotage d'un WHOLEGARMENT [7]. En outre, chaque panneau est séparé en sections de 1,5 pouce qui peuvent être contrôlées individuellement pour un contrôle spécifique de la tension sur toute la largeur du vêtement.

En conséquence des progrès des machines à tricoter rectilignes, de nouvelles structures ou de nouveaux types de motifs jusqu'à présent impossibles à produire sur des machines à tricoter rectilignes représentent une autre direction pour l'innovation. Ces possibilités de motifs créent de nouvelles textures qui peuvent être utilisées de manière innovante par les créateurs de textiles et de mode.

Le placage est un motif qui a été fortement développé au cours de la dernière décennie. Ce motif consiste à tricoter ensemble deux fils de couleur différente en contrôlant strictement la position des fils sur chaque aiguille. Les motifs de placage inversé sont basés sur l'inversion de la position des deux fils pour des points sélectionnés, créant ainsi un motif de couleur similaire au jacquard. Dans ce sens, Shima Seiki propose l'option i-Plating pour ses modèles SVR093SP et SVR123SP, qui lui permet de produire un placage inversé avec sélection dans des structures à jersey unique. L'inversion des fils est obtenue à l'aide de presseurs à boucle spéciaux (sinkers). Un exemple d'un tel placage inversé avec sélection est présenté à la figure 2. Stoll a encore développé ses possibilités de motifs de placage, avec des modules pour le placage ikat (qui crée l'impression d'une variété de nuances de couleurs, en utilisant seulement deux couleurs de fils), le placage sélectif, le placage inversé et le placage intarsia.

Un autre type de motif intéressant à introduire dans le tricotage rectiligne est produit par la technique du tricotage Stoll-devoré© [8]. Cette technique utilise le placage (seul le fil visible à l'arrière est transparent) et se base sur la possibilité de sélectionner des aiguilles sur lesquelles les deux fils sont alimentés et des aiguilles sur lesquelles seul le fil arrière est alimenté. Dans ce dernier cas, le fil avant flotte et les mailles ne sont formées que par le fil transparent, ce qui donne un effet de fils manquants, illustré par la figure 5 ci-dessus.

Avec l'utilisation d'incrustations de trame (techniques Stoll-weave-in® et Shima Seiki Inlay), les tissus tricotés acquièrent un effet de tissage, avec tous les avantages du tricotage intégral/mode. La figure 6 illustre cet effet.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Figure 2. Détail d'un motif obtenu avec la technique d'i-Plating et motif unique Lacoste (modèle I2292S009) par Shima Seiki

Figure 3. Exemple de placage sélectif et inverse (détail du modèle 1410097) par Stoll

Figure 4. Exemple de motif unicolore plaqué sélectivement dans une structure de transfert en jersey (modèle 2010006) de Stoll

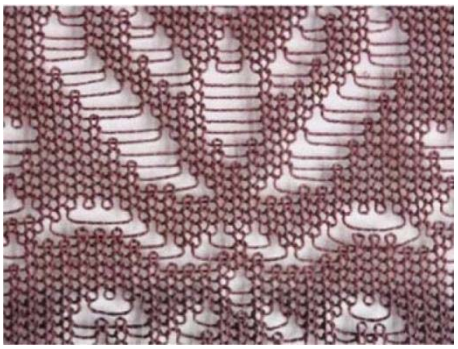


Figure 5. Exemple de modèle de tricot dévoré par Stoll

Figure 6. Exemple de motif d'incrustation de trame (modèle 1810024) par la technique Weave-in de Stoll

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3. Progrès de la numérisation et de la connectivité

Les concepts de l'industrie 4.0 deviennent rapidement dominants dans le secteur du tricotage, tous les producteurs offrant désormais des logiciels orientés client avec des performances améliorées et des capacités d'optimisation des processus, non seulement pour la conception et le prototypage, mais aussi pour la production. Les principales tendances sont :

- La conception numérique et le développement de produits et la simulation de tissus/produits.
- Une connectivité totale tout au long du processus de tricotage et remontant jusqu'à l'ensemble de la chaîne de valeur.

Shima Seiki a développé la station de programmation SDS One APEX 3. Le logiciel de conception APEX [9] comporte différents modules qui conçoivent les produits et tissus tricotés (panneaux - structure, forme et assemblage des pièces dans le produit) et simulent son assemblage et sa position sur le corps. Les simulations sont extrêmement proches de la réalité grâce au façonnage précis des mailles et à la grande bibliothèque numérique de fils (yarnbank™). Cette dernière est taillée sur mesure pour le prototypage virtuel, ce qui a un impact positif sur le coût et la durée du développement des collections. Il permet également de contrôler la production en temps réel lorsque la commande est lancée via ShimaKnitPLM®. La dernière génération est APEX 4, qui promeut les concepts du Total Fashion System, reliant les étapes de planification, de production et de vente pour les entreprises.

Shima Seiki a lancé son premier logiciel par abonnement appelé Apex Fiz, une plateforme créée en réponse aux changements de modèles de travail induits par la pandémie mondiale. Elle permet aux concepteurs situés dans des endroits éloignés d'accéder aux outils de conception du logiciel APEX, offrant un accès à la vaste bibliothèque numérique de fils, à la conception de tissus/produits et aux simulations 3D, aux variations de couleurs.

Un autre développement est le logiciel de personnalisation de masse MADETOFIT - Le concept commence par la numérisation d'un corps à l'aide d'une application pour smartphone, envoie ces données à un serveur qui ajuste automatiquement les catégories de données préchargées, notamment la taille, la longueur, la longueur des manches et la couleur, puis tricote le vêtement sur la machine à tricoter WholeGarment MACH2XS103.

STOLL knitelligence® [10] est une plateforme d'industrie 4.0 qui crée un réseau pour les entreprises de tricotage, disponible pour leur série Knitelligence (ADF 530K). Elle rassemble plusieurs outils qui facilitent le processus de conception, de prototypage et de fabrication, en réduisant les liens et avec un contrôle strict de la gestion de la production :

- STOLL-artwork® - support de tricotage dans Adobe® Photoshop®, facilitant la communication entre les designers et les techniciens.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- STOLL-autocreate® - outil d'automatisation pour créer des programmes de tricotage sans intervention manuelle.
- M1plus® et k.innovation CREATE/CREATE PLUS - logiciel de patrons bien connu et nouveau logiciel de patrons pour la création de programmes de tricotage sur M1plus. CREATE PLUS numérise l'ensemble du flux de travail et offre aux entreprises de tricotage un lien direct via le cloud de KM.ON.
- GKS (Grading for Knitting System) - outil très efficace pour le façonnage et la gradation. GKS intègre des modèles de forme entièrement dimensionnés et fonctionnels, pour toutes les variantes de motifs typiques.
- PPS (Production Planning System) - outil logiciel pour la planification de la production et la gestion des machines.
- APM (Auto Production Mode) est un outil qui permet de lancer les commandes lancées via PPS sans aucune intervention.

Le plein effet de cette solution logicielle tout-en-un se déploie autour de la fonction de bureau à distance. Elle permet à l'utilisateur d'effectuer des modifications au sein de la production directement sur la machine. Cela réduit les temps de réaction et améliore la flexibilité.

Stoll a également développé le knitrobotic-kit, un kit qui ajoute des fonctions robotiques automatisées, présenté en avant-première à l'ITMA 2019 [11].

Karl Mayer a mis en œuvre son portefeuille de services numériques KM.ON [12] qui soutiendra les clients dans certains domaines et se compose de huit catégories de solutions ; k.ey - un PC industriel conventionnel associé à un logiciel approprié - permet d'accéder aux solutions (k.management, k.innovation, k.production, k.maintenance, k.qualité, k.ey, k.service). La plateforme de matériel et de logiciels peut être installée facilement et relie les machines de manière sécurisée au cloud protégé. Les premières applications et solutions couvrant les trois domaines de la gestion, de la maintenance et du service sont disponibles sur le marché dès maintenant.

Le système de patronage en ligne k.innovation est introduit pour la machine à tricoter HKS 3-M ON qui fonctionne avec des données chargées directement depuis le nuage sécurisé de KM.ON plutôt qu'avec des disques de patronage. Il est basé sur le nouveau lecteur de patrons ON et la mise en réseau des machines via k.ey. Un client (producteur) peut acquérir des structures de K. Mayer via l'application SwapKnit (en achetant les données ou en y accédant directement sur le cloud). Cela permet de réduire les coûts liés au changement de mécanisme de patronage, la durée du processus et d'accroître la créativité structurelle.

4. Applications techniques et fonctionnelles/intelligentes

Compte tenu de tous les progrès réalisés dans la fabrication des vêtements et de l'éventail extrêmement large des possibilités offertes par les textiles et la création de mode, ce sont les applications techniques qui présentent le potentiel commercial le plus prometteur pour l'industrie du

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

tricot. Leur flexibilité, leur formabilité, leur géométrie spécifique et leur adaptabilité au traitement de différents HPF, font des tissus tricotés trame/chaîne les mieux adaptés à de nombreux domaines techniques, les plus importants étant le médical, les sports et les loisirs, l'emballage, les géotextiles, le renforcement des composites, l'automobile, les applications de la chaussure devenant plus importantes au cours de la dernière décennie. Les tissus tricotés conducteurs et électroniques (tissus intégrant de l'électronique par tricotage) sont également un domaine où des progrès ont été réalisés.

Les tissus tricotés sont utilisés pour des applications médicales implantables et non implantables. Parmi les matériaux implantables, on peut citer les filets pour hernie et les greffons vasculaires fabriqués par tricotage chaîne, car il permet de fabriquer une large gamme de filets avec une géométrie cellulaire différente et est plus résistant et poreux pour les greffons. Les tissus tricotés (à la fois en trame et en chaîne) composés de biopolymères peuvent également être utilisés comme échafaudages pour l'ingénierie tissulaire [14]. Ils ont l'avantage d'être très poreux et de préserver les espaces conjonctifs internes sous tension mécanique.

Figure 7. Exemple de tricot tubulaire en chaîne utilisé pour les greffes vasculaires périphériques [13].

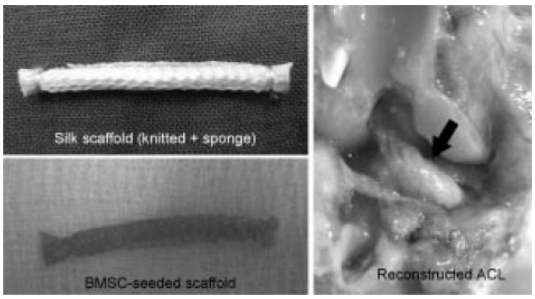


Figure 8. Exemple d'échafaudage tricoté utilisé pour l'ingénierie tissulaire [15]

Dans le cas des textiles non implantables, le tricotage est bien adapté aux bandages de soutien et aux bandages/ vêtements de compression. Les possibilités de mise en forme 2D/3D et l'utilisation de différents types de structures permettent d'adapter les produits à la zone du corps où ils seront utilisés et de contrôler le niveau de pression appliqué, comme cela est requis dans la thérapie de compression [16].

Les tissus tricotés en chaîne multiaxiale avec des couches de verre ou de carbone qui peuvent déposer des fils le long de directions préférentielles sont utilisés comme renforcement composite pour des applications telles que les éoliennes. Les fils sont placés à 0° (incrustations de trame) et à un angle ±Θ qui dépend de l'application et des possibilités de la machine, dans des couches individuelles. Ces couches sont créées avant d'atteindre la zone de tricotage, où les fils de remplissage (incrustations de chaîne) sont ajoutés tandis que la structure de base donne à l'ensemble sa cohésion. Comme le non-écrasement des fils dans les couches est essentiel pour la performance des composites, un mécanisme d'aiguille à pied a été créé, afin de minimiser la perturbation des fibres causée par les aiguilles lorsqu'elles pénètrent dans les couches. Les matériaux de renforcement peuvent contenir des tissus de substrat et des mats de brins coupés (fibres de verre coupées) qui amélioreront leur comportement.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Exploitant leur potentiel pour produire des tissus à l'architecture complexe (entretoises, structures en coquille, tubes), les tricots à trame plate peuvent également produire des renforts composites avancés dont la géométrie 3D correspond à la forme finale du composite. Ces "préformes" présentent l'avantage de réduire le temps de production, car il n'est pas nécessaire de disposer ou d'assembler les matériaux avant d'introduire la résine.

Les géotextiles sont un domaine où le tricotage en chaîne est une technologie importante, car il permet de fabriquer des géogrilles composites de différentes ouvertures à utiliser pour le renforcement des sols et la séparation des couches. Pour les applications à court terme (consolidation des terres), les grilles sont constituées de fibres libériennes qui sont biodégradables.

Le tricotage chaîne convient également pour les tissus d'espacement avec des couches extérieures ouvertes ou fermées. De telles structures trouvent une large gamme d'applications, comme les chaussures, les zones de rembourrage pour différents vêtements ou autres produits, l'ameublement et les matelas. Leur épaisseur peut aller jusqu'à 15 mm. Karl Mayer a développé 4D-KNIT.SOLUTIONS sur son modèle RDPJ 6/2 EL, en combinant une disposition spéciale des barres et une configuration technique avec la technologie Piezo-Jacquard pour ajouter des effets de relief des deux côtés des tissus d'écartement. En outre, les motifs peuvent contenir des ouvertures, pour un flux d'air dirigé ou des effets lumineux.

Les produits tricotés intelligents, contenant notamment des circuits électroniques et des capteurs intégrés, constituent un axe de recherche important de la dernière décennie, avec des résultats spectaculaires. Des fils conducteurs de différentes natures (métalliques ou polymères enduits) peuvent être introduits dans les tissus tricotés en trame ou en chaîne pour former des points, des plis, des flotteurs ou des incrustations. Un large éventail de capteurs peut être produit par tricotage pour mesurer différentes réponses (mécaniques, physiques, chimiques, électriques, biologiques, etc.

Les vêtements tricotés intelligents pour la surveillance de la santé constituent une application importante. Ces vêtements sont équipés de capteurs de signes vitaux, comme la température, la fréquence cardiaque, le pouls, etc. et sont également utilisés dans le domaine de l'entraînement par les athlètes.

Le gant à capteurs tricoté développé par Stoll en collaboration avec Bosch GmbH et présenté en premier à l'ITMA 2019 est le lauréat du prix de l'innovation TechTextil. Il est utilisé pour la collecte de données dans différents domaines d'application, tels que les processus de travail complexes, la réalité virtuelle (VR) ou la réalité augmentée (AR). Le concept innovant qui différencie ce gant des autres gants de données existants est l'utilisation de capteurs textiles et de chemins conducteurs textiles permettant une intégration complète de tous les composants et fonctions nécessaires dans le gant. Cela simplifie considérablement le processus de fabrication et permet une production en série rentable et automatisable.

Le gant (figure 9) contient des capteurs placés au niveau des doigts, introduits dans la structure du tissu, qui enregistrent l'angle de flexion pendant le mouvement, ainsi qu'une boîte qui comprend

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

l'équipement électronique pour traiter et analyser les données et une source d'alimentation connectée au gant par une interface. Le boîtier, placé sur le poignet, est étanche et résistant aux chocs. Le système est conçu de manière durable afin que chaque composant distinctif puisse être remplacé ou réutilisé en cas de besoin.

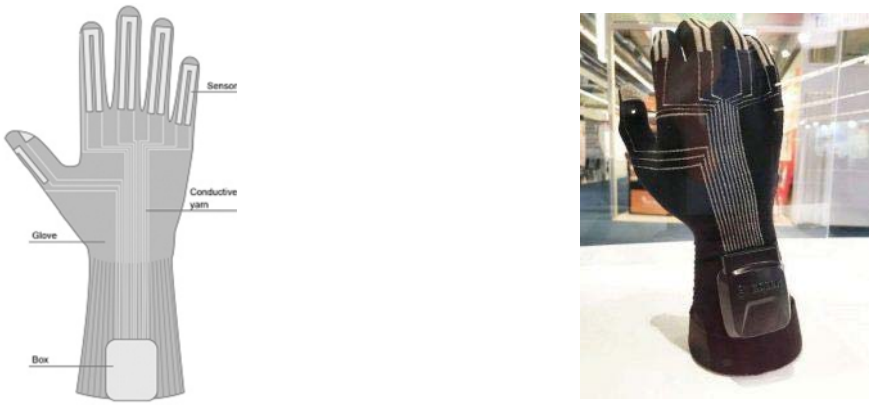


Figure 9. Un gant tricoté à capteurs de réalité augmentée et virtuelle de Stoll [19].

Réferences

[1] D.J. Spencer, Knitting Technology: A Comprehensive Handbook and Practical Guide. 3rd edition, CRC Press, 2001

[2] Santoni. Technical data. Seamless Santoni. [Online]. Disponible sur : https://www.santoni.com/en-macchine-item.asp?idf=1 [Consulté : Mai 02, 2021].

[3] Karl Mayer. *Seamless*. Karl Mayer Applications [Online]. Disponible sur :https://www.karlmayer.com/en/applications/sports-textiles/seamless/ [Consulté : Mai 02, 2021].

[4] Shima Seiki. *Knitting Machine features*. Shima Seiki. [Online]. Disponible sur :Features | Knitting Machines | Products | SHIMA SEIKI | Computerized Flat Knitting Machines, Design Systems, CAD/CAM Systems [Consulté : Mai 10, 2021].

[5] Machines. *Knit&Wear*. Stoll by Karl Mayer. [Online]. Disponible sur :https://www.stoll.com/en/machines/knitwear/ [Consulté : Mai 10, 2021].

[6] Machines. *ADF 830-24 KI W KNIT&WEAR*. Stoll by Karl Mayer. [Online]. Disponible sur :https://www.stoll.com/en/machines/knitwear/adf-830-24-ki-w-knitwear/ [Consulté : Mai 10, 2021].

[7] Shima Seiki. *Knitting Machine Features*. Shima Seiki. [Online]. Disponible sur : https://www.shimaseiki.com/product/knit/feature/ [Consulté : Juin 10, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[8] Knitting Industry. (2012.11.28) *Stoll revives devoré knit technique*. Knitting Industry. [Online]. Disponible sur : https://www.knittingindustry.com/stoll-revives-devor-knit-technique/ [Consulté : Juin 09, 2021].

[9] Shima Seiki. *Design System Software*. Shima Seiki. [Online]. Disponible sur : https://www.shimaseiki.com/product/design/ [Consulté : Juin 05, 2021].

[10] Stoll. *Knitelligence®*. Stoll KM-ON. [Online]. Disponible sur : https://stoll.com/knitelligence/#start [Accessed: Juin 06, 2021].

[11] Stoll by Karl Mayer (2019, 07.17). *STOLL-knitrobotic®.* YouTube. [Online]. Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=RMtxD5Mxsk0&t=56s [Consulté : Juin 05, 2021].

[12] KM.ON. *KM.ON Solutions*. Karl Mayer. [Online]. Disponible sur : https://kmon.net/en/solutions [Consulté : Juin 15, 2021].

[13] Medical Textiles. *Knitted Textiles*. Aran Biomedical. [Online]. Disponible sur :https://www.aranbiomedical.com/medical-textiles/#Knitted_Medical_Fabrics [Consulté : Juin 10, 2021].

[14] X. Wang et al. "Applications of knitted mesh fabrication techniques to scaffolds for tissue engineering and regenerative medicine", Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, vol. 4, issue 7, pp. 922-932, October 2011.

[15] Y. Xiong, X. Tao. "Compression Garments for Medical Therapy and Sports", *Polymers*, vol. 10(6), June 2018. [Online]. Disponible sur : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6404358/ [Consulté : Juin 18, 2021].

[16] J.C.H. Goh, S. Sahoo, *"Scaffolds for tendon and ligament tissue engineering" in* Regenerative Medicine and Biomaterials for the Repair of Connective Tissues, *C. Archer and J. Ralphs, Woodhead Publishing Series in Biomaterials, 2010, pp. 452-468*

[17] A. Angelucci et al., "Smart Textiles and Sensorized Garments for Physiological Monitoring A Review of Available Solutions and Techniques", *Sensors*, vol. 21, no. 3, 814, 2021, [Online] Disponible sur : https://www.mdpi.com/1424-8220/21/3/814/htm [Consulté : Juin 06, 2021].

[18] R. Bosch, J.L. Valentin, "Knitted sensor glove", *Textile Technology*, no. 3, 2020. [Online] Disponible sur : https://www.textiletechnology.net/technical-textiles/trendreports/Technical-Textiles-32020-Knitted-sensor-glove-22011 [Consulté : Juin 16, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Qu'est-ce que le tricot sans couture ?

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) Le tricotage sans couture consiste à tricoter des tubes de structures différentes et de dimensions/formes variables qui seront reliés entre eux pour former directement le produit.
b) Le tricotage sans couture consiste à tricoter des panneaux entièrement façonnés qui sont ensuite assemblés pour former le produit.
c) Le tricotage sans couture consiste à tricoter un tube de tissu à partir duquel des pièces sont coupées puis assemblées.

Question 2 : Quelles sont les principales tendances de développement pour le secteur du tricotage en termes d'industrie 4.0 ?

Veuillez choisir une seule bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Numérisation de l'ensemble du flux de travail et de la connectivité.
b) Développement de capteurs pour le contrôle de la qualité
c) Développement de nouveaux systèmes pour la gestion de la production

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 1.4 Progrès dans la production de tresses

Luminita Ciobanu
TUIASI

1. Progrès dans la production de tresses

Le tressage est une technologie polyvalente qui repose sur l'entrelacement d'au moins un ensemble de fils dans des directions biaisées. Du point de vue structurel, les tissus tressés sont similaires aux tissus tissés en ce qui concerne l'existence de deux ensembles de fils qui se superposent et se superposent, mais la différence est que cet entrelacement est effectué à un autre angle que l'angle droit (10° à 80°). Fondamentalement, les fils, placés sur des supports, sont déplacés par des disques à plusieurs fentes (appelés engrenages à cornes) selon une trajectoire spécifique (piste).

Le rapport avec lequel les fils sont entrelacés définit la structure des tissus tressés : 1x1 (diamant), 2x2 (régulier) et 3x3 (Hercule). Le motif 1x1 est la structure la plus courante et est également appelé diamant, en raison de l'aspect général généré par les fils. C'est également le motif le plus stable, ce qui entraîne un meilleur comportement mécanique.

Les applications couvrent une gamme extrêmement variée d'utilisations, des plus simples aux plus complexes, comme les vêtements (vêtements d'extérieur et lingerie), les lacets de chaussures, les mèches de bougies, les manches, les cordons, les harnais et les cordes utilisés pour la pêche et la navigation maritime, le forage en mer, l'industrie aéronautique et automobile, la protection des câbles électriques, le sport et les loisirs. La médecine représente un large éventail d'applications, des échafaudages pour l'ingénierie tissulaire aux implants (sutures, mailles, stents, cathéters, greffes), aux implants durs et aux applications non implantables, comme les bandages élastiques/non élastiques, les vêtements de compression ou les dispositifs orthopédiques. La technologie du tressage est capable de traiter des fils normaux (fibres naturelles et synthétiques), mais aussi des fibres médicales à haute performance (biopolymères tels que le collagène, le chitosan, le PLA, etc.)

Les préformes composites représentent l'un des domaines les plus importants pour les développements récents, à la fois en tressage 2D et 3D, avec une grande diversité de formes et de dimensions de préformes produites en utilisant des fibres de haute performance comme le verre, le carbone et les aramides. Par exemple, des recherches récentes montrent le potentiel du tressage pour traiter d'autres fibres à haute performance comme le tungstène pour des applications à haut flux thermique, comme par exemple les composants orientés vers le plasma des futurs dispositifs de fusion nucléaire [1].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Outre le développement de machines à tresser 3D, l'accent est mis actuellement sur la transition vers l'industrie 5.0 grâce à des outils flexibles de CAO/FAO, à la personnalisation des produits et à des applications pour le suivi de la production.

Un autre développement intéressant est l'utilisation du tressage pour produire des capteurs en incluant des fils conducteurs dans les structures tressées ou en créant des fils tressés avec des caractéristiques conductrices utilisées pour introduire des capteurs dans d'autres tissus.

Il existe un large éventail de technologies utilisées pour produire des tresses 2D/3D, tubulaires, plates ou avec une section transversale complexe. Cette diversité rend la classification complexe, ce qui donne lieu à différentes tentatives d'organisation des informations concernant le processus de tressage et les tissus tressés, notamment dans le cas du tressage 3D. Kyosev [2] fournit la classification la plus complète des machines à tresser, en fonction du mouvement des porteurs et des engrenages à cornes (continu ou discontinu), et de l'occupation de la position du porteur (partiellement ou totalement occupée).

Bilisik [3, 4] classe les tresses 3D en fonction du type de motifs d'entrelacement, de l'orientation des fils et du nombre de jeux de fils en tresses 3D (tressage à 4 étapes avec une matrice rectangulaire/polaire de supports et tressage rotatif), en tresses 3D axiales (tressage en mât avec des fils axiaux ; tressage à 4 étapes ; tressage à 2 étapes et tressage rotatif avec une matrice rectangulaire de supports) et en tresses 3D multiaxiales (tressage à 6 étapes et tressage à plusieurs étapes).

Cette unité ne présentera que les aspects structurels et technologiques, ainsi que les applications considérées comme représentatives des avancées actuelles en matière de tressage.

2. Le tressage 2D

Le tressage 2D est le procédé de tressage le plus courant, en termes industriels et commerciaux. Il comprend différents principes de tressage, qui se réfèrent principalement à la façon dont les engrenages de la corne sont placés et les supports déplacés et à la façon dont les fils s'entrelacent : tressage en mât, tressage en spirale, tressage en dentelle, tressage en fuseau. Le tressage Maypole est le premier procédé de tressage en 2D, les deux jeux de fils (tresseurs) se déplaçant sur des trajectoires circulaires sinusoïdales. Selon la trajectoire formée par les supports, le tressage Maypole est utilisé pour produire des tresses tubulaires (y compris des tresses multicouches) et des tresses plates. Des structures triaxiales sont obtenues lorsque des fils axiaux sont introduits entre les fils de tressage.

2.1. Sur-tressage

Le sur-tressage est obtenu en utilisant un mandrin de forme requise, placé sur l'axe de tressage tout au long du processus de tressage. La structure tressée recouvre le mandrin en plusieurs couches, ce qui donne une préforme qui est généralement utilisée pour le renforcement des composites.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Actuellement, certains modèles ont le mandrin positionné par un bras robotisé, qui peut contrôler son angle par rapport à l'axe de tressage.

Le principal problème du sur-tressage est de numériser le processus de tressage, en créant des outils qui permettront de programmer la machine à tresser en fonction de la géométrie du mandrin utilisé, afin que la préforme obtenue ait des caractéristiques spécifiques et corresponde aux normes de qualité.

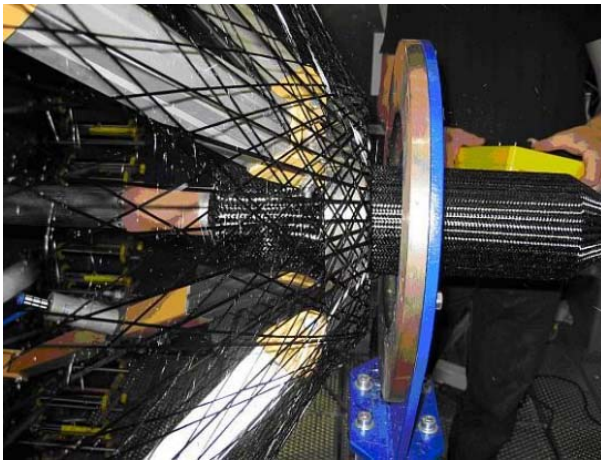


Figure 1. Exemple d'une préforme en carbone composite produite par sur-tressage triaxial [5].

Un exemple représentatif du travail effectué à cette fin a été réalisé par le National Aerospace Laboratory NLR aux Pays-Bas, en collaboration avec Eurocarbon BV et l'Université de Twente. L'équipe a développé un tel outil d'aide à la pré-production de sur-tressage destiné à remplacer le processus de prototypage par essais et erreurs, qui demande beaucoup de travail [5]. L'outil comprend plusieurs paquets, dont un programme de simulation de sur-tressage (Braidsim), des bases de données sur les matériaux de tressage et les spécifications des machines de sur-tressage, ainsi qu'un logiciel de post-traitement, de visualisation et de création d'animations vidéo. Les données d'entrée initiales se réfèrent à : la géométrie du mandrin ; le matériau de tressage (caractéristiques du fil/tire) ; la structure du tressage ; les paramètres de la machine ; le plan de tressage (mouvement du mandrin dans la machine) ; les paramètres de la simulation de contrôle. La simulation est basée sur un modèle cinématique et crée le produit sur-tressé virtuel. L'outil propose également les valeurs optimisées des paramètres de contrôle du processus de tressage : vitesse de déplacement (vitesse du mandrin) et vitesse de tressage des supports.

2.2. Le tressage en dentelle

Le tressage en dentelle est un procédé similaire au tressage en maypole (circulaire ou plat) où chaque corne est contrôlée individuellement, de sorte que son sens de déplacement peut être inversé après chaque cycle pour créer des brins indépendants. Les structures de dentelle sont caractérisées par deux types d'entrelacement des paires de fils, appelés torsion et croisement [6].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les principales applications de ce type de tresses sont l'habillement (vêtements de dessus et lingerie) ; les articles de décoration (vaisselle et literie, rideaux, abat-jour et autres articles d'ameublement) ; les filets d'emballage.

Branscomb et al [5] discutent de la possibilité d'utiliser des machines à tresser la dentelle pour produire des préformes composites à structure ouverte.

Figure 2. Vue générale d'un métier à tresser la dentelle (modèle virtuel) [6].

En Europe, Herzog (https://herzog-online.com/technical-braids/) et Krenzler sont les principaux producteurs de machines à tresser la dentelle (http://www.krenzler-gmbh.de/kloppel%20eng.htm).

TEF Braids (USA) est une société qui développe des tresses en dentelle complexes basées sur des technologies propriétaires pour le tressage de dentelle Jacquard (https://www.tefbraids.com/). L'entreprise a développé la technologie de tressage de dentelle Tensengral, pour les vêtements et les chaussures. Les structures de tissu à distribution de tension sont basées sur plusieurs brevets : XhelX (réseau de filaments multiaxiaux comprenant deux ensembles de filaments liés unifiés qui distribuent la tension entre des membres opposés en direction au sein d'un plexus), IP (US 20140377488 A1) et ALX (brevet en instance, réseau de filaments multiaxiaux comprenant une multiplicité de doubles hélices réticulées qui distribuent la tension au sein d'un plexus) qui permettent des possibilités structurelles extrêmement diverses, illustrées à la figure 3.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Figure 3. Exemples de tissus tressés en dentelle tendue produits par TEF

3. Tressage 3D

Le potentiel des tresses 3D est donné par la diversité des formes, des sections transversales et de leur comportement mécanique contrôlé à travers l'épaisseur en fonction de la géométrie du fil [7]. De nombreuses recherches sont actuellement développées pour améliorer encore les propriétés mécaniques de ces tresses, notamment pour les applications composites, mais ces résultats sont principalement au stade expérimental, en laboratoire. En outre, il n'existe toujours pas de consensus sur le tressage 3D et différents termes sont utilisés pour décrire les mêmes concepts, ce qui rend la présentation de ces technologies plus complexe et subjective.

3.1. Tressage 3D cartésien

Dans le tressage 3D cartésien, également connu sous le nom de tressage par pistes et colonnes, les supports sont déplacés par groupes, par pistes, respectivement par colonnes. Le processus en 4 étapes est le plus connu, où les pistes puis les colonnes de porteurs sont successivement déplacées dans des directions opposées en quatre étapes [8]. Les supports peuvent être disposés en un réseau rectangulaire ou cylindrique. Le métier à tresser cylindrique à 4 étapes a fait l'objet d'un développement ultérieur, une machine à 10 pistes (anneaux) et 288 colonnes étant construite. La société 3Tex (USA) a repris le modèle et a essayé de l'utiliser pour des préformes tubulaires en carbone épais, avec un succès commercial limité.

Un autre procédé de tressage cartésien est le tressage en 2 étapes, développé au début des années 90, dans lequel un ensemble de fils est déplacé entre les fils axiaux en deux étapes (directions opposées), selon la géométrie de la section transversale.

Le processus de tressage en 6 étapes a été développé à partir de celui en 4 étapes pour augmenter la résistance du tissu dans les trois directions en introduisant des fils parallèles à l'axe (fils de chaîne, fils de trame et fils de l'axe Z). La géométrie des cellules pour ces structures et les positions spécifiques de chaque fil sont illustrées dans la figure 4 [9].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les préformes composites constituent la principale application, car le procédé permet une géométrie complexe de la section transversale, avec l'avantage d'un renforcement orthogonal du tissu.

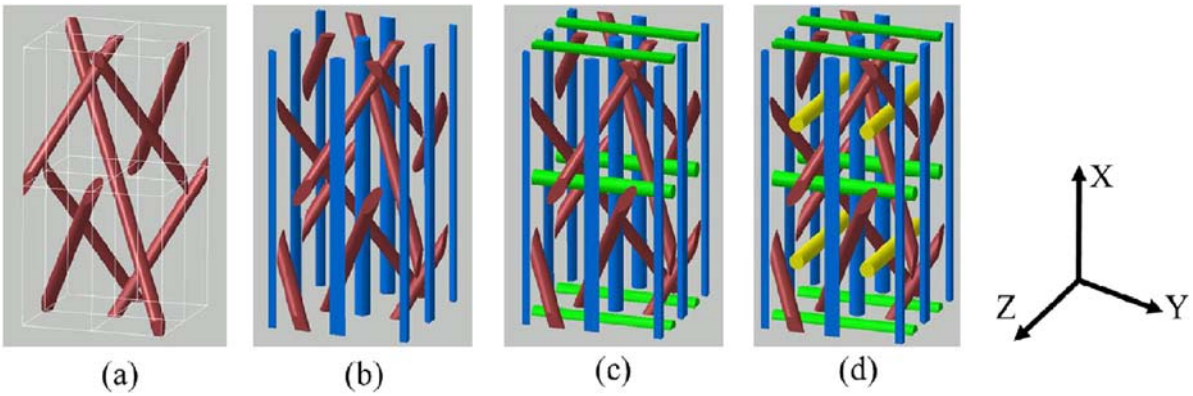


Figure 4. Géométrie des structures renforcées par tressage cartésien [6] - a) 3D 4d (seulement des tresseurs), b) 3D5d (+ fils de torsion), c) 3D6d (+ fils de torsion et de remplissage) et d) 3D7d (+ fils de torsion, fils de remplissage et fils de l'axe Z).

3.2. Tressage rotatif 3D

Le procédé de tressage rotatif 3D est une adaptation du tressage en mât de cocagne et en dentelle, à la différence de la disposition des engrenages à cornes (rectangulaires) et, surtout, du mécanisme de changement de voie des porteurs entre les engrenages à cornes, qui est modifié de manière à ce que la trajectoire du porteur soit contrôlée indépendamment. Cela permet de réaliser diverses géométries complexes en 3D, notamment des sections transversales variables, des tresses séparées (ramifiées) et des profils creux. Plusieurs types de machines sont utilisés pour le tressage rotatif.

Tressage solide (de forme)

Des machines maypole adaptées peuvent être utilisées pour produire des tresses pleines à section carrée, connues sous le nom de tresses de joint / 2.5D / packing / form. Leurs principales applications sont les joints d'étanchéité pour les liquides dans les équipements industriels et, dernièrement, les préformes composites. Les joints tressés sont utilisés dans des conditions exigeantes en termes de pression et de température, c'est pourquoi ils sont fabriqués à partir de fibres de haute performance comme le verre, le graphite ou la céramique [2]. Pour améliorer le lissage de la surface, les tresses sont revêtues (par exemple, de PTFE). Pour des raisons similaires, les fibres à haute performance (verre, carbone ou aramides) sont également des préformes tressées solides.

Les supports sont disposés en carré selon le nombre de pistes à former par les tresseuses : système à 2 pistes (tresses 2D, où D représente la diagonale) ; système à 3 pistes (tresses 3D) et système à 4 pistes (tresses 4D). Les pistes font référence à la trajectoire des porteurs qui sont visibles dans la section transversale des tresses. La résistance et la forme des tresses obtenues peuvent être renforcées par la présence de fils d'insertion, placés au milieu des engrenages de la corne.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

A titre d'exemple, le métier à tresser les paquets du catalogue Herzog (https://herzog-online.com/packing-braiding-machines/) peut être adapté pour 2, 3 ou 4 pistes. Il présente des supports de type manchon, selon la taille du pas pour des tailles de bobine de 72 x 285 mm jusqu'à 135 x 300 mm. À l'ITMA 2019, l'Institut für Textiltechnik de l'université RWTH d'Aix-la-Chapelle (ITA) a présenté la mise à niveau d'un ancien modèle pour le tressage de forme afin de numériser complètement le processus. La machine est utilisée pour la production de composants de turbine en céramique renforcés en trois dimensions.

En modifiant les pistes des machines de conditionnement, on obtient des tresses de différentes sections : tresses multicouches, tresses à géométrie complexe (en U, en Y, en I, etc.). Le tressage tubulaire solide est également présent dans la littérature, plusieurs brevets traitant du tressage tubulaire solide avec une structure de tressage interlock (voir les brevets de Brookstein, Temple, Uozomi).

Tressage hexagonal

Le tressage 3D hexagonal est basé sur une approche différente du tressage 3D par engrenages à cornes en disposant les engrenages à cornes en forme hexagonale [10, 11]. Cette position garantit que les supports sont déplacés avec des incréments plus petits, car ils sont proches les uns des autres, modifiant ainsi l'angle entre les fils tressés [9, 10].

La disposition hexagonale des engrenages à cornes élargit les possibilités de mouvement des supports et donc les possibilités structurelles. La figure 5 illustre la gamme de formes qui peuvent être produites à l'aide de cette technologie.

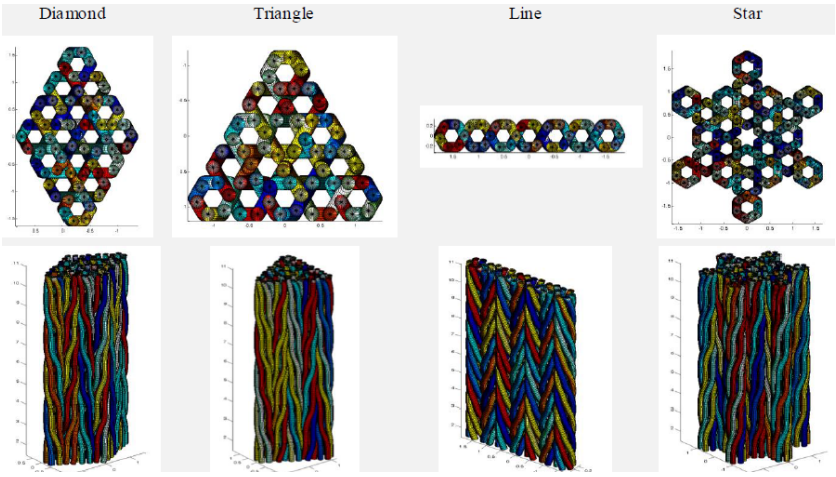


Figure 5. Simulations de structures et de formes hexagonales tressées possibles [9].

Tressage rotatif Herzog

Le modèle de tressage rotatif 3D développé par A. Herzog GmbH et l'Institut für Textiltechnik (ITA) de l'université RWTH d'Aix-la-Chapelle est similaire au modèle Vario Braider créé pour le tressage de joints (formes) en termes de disposition des engrenages à cornes. Le modèle rotatif présente le

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

contrôle individuel du mouvement de l'engrenage à corne (par des moteurs individuels) et par la suite de la trajectoire du support. La machine a été conçue pour les préformes en carbone composite et peut atteindre une productivité élevée pour les préformes à section constante.

La complexité de la trajectoire des porteurs qui entraîne des distances différentes au point de tressage tout au long du processus de tressage nécessite un dispositif de compensation placé sur chaque porteur (unité de stockage du fil). Le décollage est assuré par un mécanisme de treuil à vitesse réglable contrôlant l'angle de tressage et l'orientation des fibres. La machine est programmée à l'aide du logiciel CabRun qui définit la trajectoire de chaque porteur en fonction de la géométrie de la préforme.

Tressage rotatif 3TEX

La société américaine 3TEX a conçu une machine à tresser rotative qui présente un mécanisme original de changement de piste (décrit dans le brevet US 6439096) où les porteurs sont transférés entre les engrenages à cornes par paires à l'aide d'une fourche de préhension rotative (appelée RGF). Les cornets sont disposés en cellules élémentaires qui sont assemblées pour former des modules et ces modules peuvent être assemblés pour créer différentes configurations en termes de géométrie et de taille. Cette architecture composée de l'agencement de la machine et le système CAO développé pour définir le schéma d'activation des RGF en fonction de la forme permettent une flexibilité de production accrue en termes de géométrie et de section du tissu.

La tresseuse à un module initialement développée par 3TEX a été adaptée à deux applications intéressantes : le surtressage de noyaux de mousse souple (un ou plusieurs noyaux) et de structures composites légères en treillis. La première version a été suivie par la machine rotative dite à neuf modules, avec un ensemble d'engrenages à cornes de 12x12, composé de modules 3x3, chacun avec une configuration d'engrenages à cornes de 4x4. La machine est utilisée pour produire des préformes en composite (fibres de carbone) comme les raidisseurs en I, T, L ou J.

4. Systèmes de CAO pour la modélisation du processus de tressage

En raison de la complexité des processus de tressage 3D et du large éventail de formes pouvant être obtenues par tressage (structures proches de la coque ou solides avec différentes sections transversales), le développement virtuel et la simulation de ces processus deviennent extrêmement importants pour améliorer la conception de ces tissus et adapter la technologie de tressage aux exigences de l'industrie 4.0.

4.1. Le logiciel TexMind

TexMind (http://texmind.com/wp) est une société allemande spécialisée dans le développement de systèmes de CAO pour les textiles et les composites. Elle a développé deux logiciels pour la modélisation du processus de tressage et des structures tressées [12].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

1. **TexMind Braider** est un logiciel de CAO pour la conception de la couleur et de la structure de tresses tubulaires et plates standard. Les données d'entrée comprennent le nombre de fils, le type de tressage et la dimension de la tresse. La structure de la tresse est modélisée en 3D, avec une option permettant de changer la couleur des fils individuellement pour créer des motifs de couleur. Il peut simuler des tresses en utilisant une large gamme de caractéristiques de fils (nombre de filaments, emballage des filaments dans la section transversale, avec ou sans torsion, diamètre intérieur, extérieur ou nominal de la tresse) et pour différentes longueurs flottantes. En fonction de la structure de la tresse et des dimensions requises, le programme génère la configuration du support et la disposition des couleurs. Il calcule la productivité, le temps de bobinage et le facteur de couverture. Les données (modèles 3D) peuvent être exportées pour l'impression 3D ou les calculs FEM et CFD dans une large gamme de formats.

2. **Le configurateur de machine à tresser** Texmind simule le processus de tressage en utilisant des engrenages à cornes avec un nombre quelconque de fentes, en fonction du placement du support. Le logiciel crée une animation du mouvement du porteur et vérifie les éventuelles collisions. Il simule également la structure 3D idéalisée de la tresse. Le logiciel peut exporter le dessin de la machine au format WMF (windows image format) et SVG (Corel Draw, Web), la tresse sous forme de géométrie 3D ou jpg et l'émulation de la machine sous forme d'animation GIF. En 2018, TexMind a lancé Computer Controlled Braiding Machine Configurator est une version avancée du Configurateur. Il permet de travailler avec des aiguillages contrôlés par ordinateur, qui changent la piste pendant le processus de tressage.

4.2. Le logiciel Herzog

Le logiciel Computer Aided Braiding (CAB) créé par August Herzog Textilmaschinenfabric GmbH pour ses machines à tresser comprend trois applications [13] :

- Calculs CAB - conversions entre les comptages de valeurs de fils et les définitions de longueurs de pas ; calculs autour de différents types de fils pour déterminer les titres en fonction des géométries ou les géométries en fonction des titres ; production en fonction des tailles et des modèles de machines (rendement de production et temps d'exécution des machines ; productivité de différents bobinoirs en combinaison avec les machines à tresser ; calculs détaillés sur les cordes de couverture d'âme ; calcul de couverture de tuyau et de préforme).
- CAB Design - pour les collections virtuelles de tresses de différents types (tubulaires, plates/lacets), différentes structures (un sur un, un sur deux), angles de tressage variables, différents motifs de couleur.
- CAB Soft - simule le processus de tressage pour les tresses conçues (placement, suppression et changement de couleur des supports ; commutation des croisements ; activation, désactivation et changement de direction des domaines de l'engrenage à cornes ; test anticollision).

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

4.3. Autres modèles et simulations du processus de tressage

La littérature comporte un nombre important de références concernant la simulation du processus de tressage et des structures tressées, trop important pour être mentionné. Il existe différents modèles géométriques pour la géométrie des tresses, comme celui proposé par KU Leuven pour les tresses 2D (WISETEX) et pour la cellule de tresse 3D [14] et le logiciel libre de l'Université de Nottingham [TexGen].

La plupart des modèles font référence à une forme spécifique de la structure tressée et du processus de tressage, en 2D (mât de cocagne, dentelle, spirale), ainsi qu'en 3D (cartésien, rotatif). Une revue de la littérature a montré des articles concernant la simulation de tous les types de tressage, avec un accent sur la modélisation du sur-tressage.

L'intérêt pour le tressage des préformes composites est évident. CATIA a lancé Composites Braiding Designer pour concevoir des structures composites tressées, simuler leur fabrication et les intégrer à SIMULIA pour l'analyse des contraintes. Il est disponible dans CATIA V5 et 3DExperience (https://www.inceptra.com/2015/07/19/another-wave-of-catia-composites-enhancements/).
L'application fournit une simulation avancée des fibres de tressage pour la visualisation des trajectoires des fibres sur des surfaces complexes et l'optimisation des paramètres de la machine pour obtenir les orientations de fibres souhaitées. Elle optimise la géométrie du mandrin pour obtenir les fractions de volume de fibres souhaitées pour une masse minimale et prend en charge l'automatisation de la planification des processus de tressage manuels existants.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] H. Gietl et al., Textile preforms for tungsten fibre-reinforced composites, Journal of Composite Materials, Volume 52, issue: 28, 3875-3884, 2018

[2] Y. Kyosev, Braiding Technology for Textiles, Woodhead Publishing, UK, 2015

[3] *K. Bilisik*, "*Cartesian 3D Braiding*", in Advances in Braiding Technologies, editor Y. Kyosev, Woodhead Publishing for Elsevier, UK, 2016, pp 79-88

[4] K. Bilisk, "Three-dimensional braiding for composites: A review", *Textile Research Journal*, 83 (13), 1414–1436, 2013 [Online] Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/258196335, [Consulté : Mars 21, 2021]

[5] E.H. Baalbergen et al., Innovating the overbraiding design process to optimise the development of composite aircraft structural components, Report no NLR-TP-2012-498, 2013 [Online] Disponible sur : https://reports.nlr.nl/xmlui/bitstream/handle/10921/520/TP-2012-98.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Consulté : Avril 02, 2021]

[6] *D. Branscomb et al.*, "*Lace Braiding Machines for Composite Preform Manufacture*", in Engineered Fabrics, MK. Singh, Intechopen, [Online] Disponible sur : https://www.intechopen.com/books/engineered-fabrics/lace-braiding-machines-for-composite-preform-manufacture [Consulté : Mars 23, 2021]

[7] *A.E. Bogdanovich*, "*An overview of three-dimensional braiding technologies*", in Advances in Braiding Technology. Specialized Techniques and Applications, Y. Kyosev, Woodhead Publishing Series in Textiles, 2016, pp. 3-78

[8] K. Bilisik, N. Sahbaz, "Structure-unit cell base approach on three dimensional (3D) representative braided preforms from 4-step braiding: experimental determination of effect of structure-process parameters on predetermined yarn path", Text. Res. J. 82 (3), 220-241, 2012

[9] D. Zhang et al., "Effects of braiding architectures on damage resistance and damage tolerance behaviors of 3D braided composites", Composite Structures, 232, 2020 [Online] Disponible sur :https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822319333331 [Consulté : Mars 23, 2021]

[10] *Schreiber, F.*, "*Three-dimensional hexagonal braiding*", in Advances in Braiding Technologies, editor Kyosev, Y., Woodhead Publishing for Elsevier, UK, 2016, pp 79-88

[11] Schreiber, F. et al., "Novel three-dimensional braiding approach and its products", ICCM-17: 17th International Conference on Composite Materials, Edinburgh, UK 27.-31.07.2009, [Online] Disponible sur : https://www.iccm-central.org/Proceedings/ICCM17proceedings/Themes/Materials/3D%20TEXTILES%20&%20COMP/D1.17%20Schreiber.pdf [Consulté : Mars 24, 2021]

[12] Y. Kyosev, P. Gleßner, Extended horn gears in 3D maypole braiding: Theoretical analysis, gear arrangement and prediction of the floating length, Journal of Textiles and Fibrous Materials Volume 1: 1–7, [Online] Disponible sur : https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2515221118786741, [Consulté : Avril 10, 2021]

[13] Herzog GmbH, *Herzog Software Solutions*, [Online] Disponible sur : https://herzog-online.com/cms/wp-content/uploads/2020/12/Herzog-software-CAB-2020-1.pdf [Consulté : Mars 23, 2021]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[14] Tolosana, N. et al., Development of a Geometrical Model for a 3D Braiding Unit Cell Based on Braiding Machine Emulation, in “Finite element modelling of textiles and textile composites”, Sankt Petersburg, September 2007 [Online] Disponible sur : https://www.mtm.kuleuven.be/onderzoek/scalint/Composites/Research/micro-meso-design/textile_composites_map/textile_modelling/downloads/sl-modelling-3d-braids-paper.pdf, [Consulté : Avril 21, 2021]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Le tressage Maypole est ....

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) Un procédé de tressage dans lequel deux jeux de fils se déplacent sur des trajectoires circulaires sinusoïdales.
b) Un procédé de tressage dans lequel un seul jeu de fils est bouclé pour former un tissu.
c) Un processus de tressage dans lequel deux jeux de fils perpendiculaires l'un à l'autre se déplacent sur des trajectoires sinusoïdales circulaires.

Question 2 : Les structures tressées en 3D peuvent être produites avec ...

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) Tressage cartésien et tressage rotatif
b) Seulement le tressage cartésien
c) Tressage rotatif uniquement

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Unité 2 Problèmes environnementaux dans l'industrie T&C

Traduit par :

Wissem Cheikhrouhou, Mohamed Koubaa, Noura Rmili

CRNS

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Sommaire

Sommaire 59

Cours 2.1 Impact environnemental du secteur T&C 62

1. 1. Les problèmes environnementaux du secteur textile 62

1.1. General introduction 62

1.2. Points clés sur les impacts environnementaux de l'industrie du textile et de l'habillement. 62

1.3. Les impacts du cycle de vie de la chaîne de valeur 63

1.4. Le défi de « l'économie circulaire » dans le secteur textile 65

2. 2. Durabilité dans le secteur du textile et de l'habillement 65

2.1. La définition de durabilité 65

2.2. Les 3 piliers de durabilité 66

2.3. Production responsable pour les entreprises 67

3. 3. Production écologique dans le secteur textile 68

3.1. L'agenda stratégique d'innovation et de recherche pour l'industrie européenne du textile et de l'habillement 68

3.2. Le thème d'innovation stratégique n.3 de l'agenda stratégique d'innovation et de recherche : économie circulaire et efficacité des ressources 69

Références 71

Questions pour l'évaluation du cours 73

Cours 2.2 Normes environnementales et étiquetage 74

1. Introduction 74

2. Législation environnementale de l'UE pour les produits chimiques 74

2.1. Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques (REACH) 75

2.2. Classification, étiquetage et emballage (CLP) 78

2.3. La prochaine étape : la stratégie de l'UE en matière de produits chimiques pour la durabilité 79

3. 3. Évaluation de la conformité - Certification 80

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3.1. Certification du produit 81
3.2. Systèmes de management environnemental (ISO 14001, EMAS) 83
Références 87
Questions pour l'évaluation du cours 91
Cours 2.3 Bonnes pratiques en matière de durabilité textile 92
1. Introduction 92
1.1. Qu'est-ce que l'économie circulaire ? 94
1.2. Qu'est-ce que l'éco-conception ? 94
2. Exemples de bonnes pratiques dans l'industrie 95
2.1. Utilisation de matières premières durables 95
2.2. Efficacité des procédés de traitement des eaux usées 96
2.3. Intégrer l'ensemble du processus de production dans la stratégie durable 97
2.4. Nouvelle vie aux restes du processus 97
3. Exemples de bonnes pratiques à travers des projets 97
3.1. Promouvoir l'écoconception 98
3.2. Écoconception avec un accent particulier sur les produits chimiques 98
3.3. Promouvoir l'économie circulaire 99
3.4. Symbiose industrielle 100
3.5. Développement d'outils de formation 100
4. Conclusions 101
References 102
Questions pour l'évaluation du cours 103
Cours 2.4 Technologies à impact minimal et production respectueuse de l'environnement 104
1. Introduction 104
1.1. L'impact de l'industrie du Textile & Habillement 104
1.2. Impact environnemental négatif et cadre réglementaire 105
2. Technologies a impact minimal pour la teinture et l'impression 107
2.1. Teinture 107

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.2. Impression numérique 112
3. Autres solutions pour une production écologique 114
3.1. Technologies plasma pour une finition écologique 114
3.2. Utilisation de fibres à base bio 117
4. Conclusion 124
Références 125
Questions pour l'évaluation du cours 126
Cours 2.5 Pratiques écologiques pour la production de jeans 127
1. Introduction 127
1.2. Préoccupations environnementales et des consommateurs 128
1.3. Réponses du fabricant 128
1.4. Problèmes écologiques dans les matériaux et les traitements utilisés pour produire des jeans 129
2. Des approches et solutions traditionnelles à des solutions plus respectueuses de l'environnement 130
2.1. L'impact négatif des approches traditionnelles - conventionnelles 130
2.2. Les nouvelles démarches éco-responsables & durables 131
2.3. Des solutions de production respectueuses de l'environnement 132
2.4. Un cas de fournisseur de technologie : jeanologia 133
3.3. Analyses de rentabilisation de la production de jeans verts 134
3.1. Une adaptation exemplaire d'une ancienne entreprise familiale : le jean d'Atelier Tuffery 134
3.2. L'histoire du succès de 1083 une start-up qui réduit l'empreinte du jean 137
3.3. Revue des entreprises de denim du monde entier proposant des options de jeans verts . 137
4. Conclusion 144
Références 146
Questions pour l'évaluation du cours 147

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 2.1 Impact environnemental du secteur T&C

Matteo Paradisi
CIAPE

1. 1. Les problèmes environnementaux du secteur textile

1.1. General introduction

La pollution produite par l'industrie textile a un impact énorme sur la planète, et les raisons sont assez faciles à comprendre. Les vêtements sont probablement les articles les plus courants que les gens achètent dans le monde d'aujourd'hui, et le nombre moyen de vêtements qu'un individu achète chaque année a considérablement augmenté ces dernières années [1]. En raison des chiffres générés par l'industrie de la mode, l'impact sur l'environnement peut être vraiment profond et dommageable.

La production de matières premières, leur filage en fibres, le tissage des tissus et la teinture nécessitent d'énormes quantités d'eau et de produits chimiques, y compris des pesticides pour la culture de matières premières telles que le coton. L'utilisation par les consommateurs a également une empreinte environnementale importante en raison de l'eau, de l'énergie et des produits chimiques utilisés pour le lavage, le séchage en machine et le repassage, ainsi que des microplastiques rejetés dans l'environnement. Moins de la moitié des vêtements usagés sont collectés pour être réutilisés ou recyclés lorsqu'ils ne sont plus nécessaires, et seulement 1 % sont recyclés en vêtements neufs, car les technologies qui permettraient de recycler les vêtements en fibres vierges commencent seulement à émerger.

Environ 70 % de toutes les fibres textiles produites dans le monde aujourd'hui ainsi que la plupart des produits chimiques de traitement des textiles sont d'origine fossile. Cette forte dépendance à une ressource fondamentalement non renouvelable soulève des questions de viabilité, du moins à long terme.

1.2. Points clés sur les impacts environnementaux de l'industrie du textile et de l'habillement

En 2019, le Parlement européen a publié un document intitulé "Impact environnemental de l'industrie du textile et de l'habillement. Ce que les consommateurs doivent savoir » [2] où, entre autres, sont résumés les points clés des impacts environnementaux de ce secteur.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Matières premières

La production de matières premières est responsable d'une grande partie de l'impact environnemental de l'industrie du textile et de l'habillement, notamment en raison de la culture de fibres naturelles.

Transformation et production de vêtements

Transformer les matières premières en fils, les tisser en tissus et appliquer des techniques de finition telles que la teinture ou donner aux tissus force et brillance sont des processus énergivores dans lesquels de grandes quantités d'eau et de produits chimiques sont utilisées.

Transport et distribution

La plupart des matières premières textiles et des produits finis sont importés dans l'UE, ce qui signifie de longs trajets de livraison. Cette phase est également caractérisée par des déchets générés par les emballages, les étiquettes, les cintres et les sacs, ainsi que par une grande partie des produits qui n'arrivent jamais aux consommateurs car les restes invendus sont jetés.

Usage grand public

On estime qu'il s'agit de la phase ayant la plus grande empreinte environnementale dans le cycle de vie des vêtements, en raison de l'eau, de l'énergie et des produits chimiques (principalement des détergents) utilisés pour le lavage, le séchage en machine et le repassage, et des microplastiques qui se déversent dans l'eau.

Fin de vie

Des données fiables et récentes sur ce qui arrive aux vêtements une fois que leurs propriétaires décident de s'en débarrasser ne sont pas facilement disponibles.

1.3. Les impacts du cycle de vie de la chaîne de valeur

Selon le rapport « Potentiel d'amélioration de l'environnement des textiles (IMPRO Textiles) » [3] réalisé par le Centre commun de recherche, les impacts du cycle de vie de la chaîne de valeur des textiles peuvent être analysés en quatre phases : production et transformation ; Distribution; Utiliser; Fin de vie.

Fabrication et transformation. Cette phase comprend la production ou l'extraction de matières premières (par exemple, la culture de plantes productrices de fibres), menant au traitement de la fibre, suivi de la confection du fil et du tissu, et enfin des étapes de finition, de coupe et de couture**.**

Distribution. Cette phase prend en compte la distribution des produits finis textiles.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Utilisation. Cette phase prend en compte le comportement des consommateurs et les modes d'utilisation des produits finaux textiles. Cette étape intègre les impacts du lavage, du sèche-linge et du repassage.
Fin de vie. Cette phase comprend la réutilisation, le recyclage, l'incinération et la mise en décharge des textiles.
Les phases de production et d'utilisation semblent être les phases les plus impactantes.

Selon le même rapport, les impacts environnementaux de la consommation et de l'utilisation des textiles dépendent à la fois de l'offre et de la demande.
Les facteurs d'approvisionnement comprennent :

- pratiques agricoles
- processus de production de l'industrie textile
- conception produit et fonctionnalités des appareils de lavage/séchage/repassage
- existence de dispositifs de tri et de recyclage.

Les facteurs de demande (qui sont principalement déterminés par des paramètres sociaux) comprennent**) :**

- choix de produits/fibres
- pratiques d'entretien (lavage, séchage, repassage)
- durée de vie du produit dans un contexte de mode rapide
- pratiques d'élimination.

Le rapport a déterminé 13 **options d'amélioration** :
En phase de production et de transformation :
1. réduire l'utilisation de produits agrochimiques
2. développer des cultures faciles à cultiver en remplaçant le coton par du chanvre ou du lin
3. réduire la consommation de produits chimiques d'encollage
4. remplacer les produits chimiques par des enzymes
5. utiliser des techniques de tricot alternatives (par exemple, tricot entièrement façonné ou tricot intégral)
6. utiliser des contrôleurs de teinture et des machines de teinture à faible rapport de liqueur
7. recyclage de l'eau.

En phase de distribution :
8. réduire le fret aérien

En phase d'utilisation :
9. réduire la température de lavage
10. Réduire le sèche-linge
11. optimiser la charge des appareils
12. amélioration de l'efficacité des appareils de lavage/séchage

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

En phase de fin de vie :
13. promotion de la réutilisation et du recyclage

1.4. Le défi de « l'économie circulaire » dans le secteur textile

"L'économie circulaire" devient rapidement l'un des termes les plus utilisés dans l'industrie européenne du textile et de l'habillement. Il fournit une ligne directrice pour l'industrie en termes de plusieurs aspects :

- Investir dans la technologie de production (plus propre et moins consommatrice de ressources),
- Développement de produits (produits plus durables, focus sur la recyclabilité)
- En ce qui concerne la sélection des matières textiles (plus d'accent sur l'utilisation de fibres durables).

Cependant, l'industrie est toujours confrontée à des défis difficiles dans la transition d'un modèle de production et de consommation linéaire traditionnel (prendre – fabriquer – jeter) à un modèle circulaire. Dans un modèle circulaire, il est essentiel de coopérer avec tous les acteurs de la production, de la vente au détail et du traitement des déchets. En raison de sa structure fragmentée et dominée par les PME, l'industrie n'a pas le pouvoir d'imposer une telle société avec d'autres acteurs essentiels de la chaîne de valeur. Le défi du futur est de faire tourner une chaîne en rond [4].

2. 2. Durabilité dans le secteur du textile et de l'habillement

2.1. La définition de durabilité

Nous pourrions dire que la durabilité vise à répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Concrètement, le développement durable est une façon d'organiser la société pour qu'elle puisse exister à long terme. Il s'agit de prendre en compte à la fois les impératifs présents et ceux de demain, comme la préservation de l'environnement et des ressources naturelles ou l'équité sociale et économique [5].

Chaque année, le Programme des Nations Unies pour le développement classe les pays sur la base du rapport IDH (indice de développement humain) publié avec leur rapport annuel. Il fonctionne comme un moyen périodique de surveiller les niveaux de développement des pays.

La durabilité encourage les entreprises à cadrer leurs décisions en termes d'impact environnemental, social et humain à long terme, plutôt que sur des gains à court terme tels que le rapport sur les résultats

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

du prochain trimestre. Cela les incite à considérer plus de facteurs que le simple profit ou la perte immédiat(e) impliqué(e) [6].

Fondamentalement, le concept de durabilité est composé de trois piliers : économique, environnemental et social, également connus de manière informelle sous le nom de bénéfices, de planète et de personnes.

2.2. Les 3 piliers de durabilité

Le pilier environnemental

Le pilier environnemental reçoit souvent le plus d'attention. Les entreprises se concentrent sur la réduction de leur empreinte carbone, de leurs déchets d'emballage, de leur consommation d'eau et de leur impact global sur l'environnement. Les entreprises qui ont un impact bénéfique sur la planète peuvent également avoir un impact financier positif. La réduction de la quantité de matériaux utilisés dans les emballages réduit généralement les dépenses globales pour ces matériaux, par exemple.

L'un des défis du pilier environnemental est que l'impact d'une entreprise n'est souvent pas entièrement chiffré, ce qui signifie qu'il existe des externalités qui ne sont pas prises en compte. Les coûts globaux des eaux usées, du dioxyde de carbone, de la bonification des terres et des déchets en général ne sont pas faciles à calculer car les entreprises ne sont pas toujours responsables des déchets qu'elles produisent. C'est là que l'analyse comparative entre en jeu pour essayer de quantifier ces externalités, afin que les progrès dans leur réduction puissent être suivis et rapportés de manière significative.

Le pilier social

Le pilier social renvoie à un autre concept mal défini : la licence sociale. Une entreprise durable doit avoir le soutien et l'approbation de ses employés, de ses parties prenantes et de la communauté dans laquelle elle opère. Les approches pour obtenir et maintenir ce soutien sont diverses, mais cela revient à traiter les employés équitablement et à être un bon voisin et un membre de la communauté, à la fois localement et globalement.

Le pilier économique

Le pilier économique de la durabilité est celui où la plupart des entreprises se sentent sur des bases solides. Pour être durable, une entreprise doit être rentable. Cela dit, le profit ne peut pas l'emporter sur les deux autres piliers. En fait, le profit à tout prix n'est pas du tout l'objet du pilier économique. Les activités qui relèvent du pilier économique comprennent la conformité, la bonne gouvernance et la gestion des risques.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.3. Production responsable pour les entreprises

La production responsable concerne la manière dont les entreprises produisent des biens et des services. C'est un concept strictement lié à l'objectif 12 des Objectifs de Développement Durable : Consommation et production responsables.

Suivant ce principe, les entreprises, en plus d'assurer le respect continu des lois dans l'exercice de leurs activités, s'engagent à [7] :

- ✓ Concevoir des produits/services et des processus de production afin de minimiser et, si possible, d'éliminer les impacts sociaux et environnementaux tout au long du cycle de vie (extraction et traitement des matières premières, fabrication, transport, distribution, utilisation, recyclage et élimination finale). Dans chaque phase, le processus doit être traçable.
- ✓ Innover le système de gouvernance d'entreprise en développant des stratégies commerciales, avec une attention particulière à la durabilité, en tenant compte des demandes des parties prenantes de l'entreprise ;
- ✓ Promouvoir la transition vers l'économie circulaire éventuellement aussi en reconsidérant son business model ;
- ✓ Renforcer la vision stratégique du système de chaîne d'approvisionnement, pertinente tant au niveau national qu'international ;
- ✓ Donner la priorité à l'adoption de procédés de production innovants capables de réduire l'impact environnemental et social ;
- ✓ Appliquer des méthodes d'achats responsables, en sélectionnant et en contrôlant ses fournisseurs également en fonction des performances environnementales et sociales. Mettre en œuvre des politiques d'achat dont les impacts environnementaux, sociaux et économiques sont les plus positifs possibles sur l'ensemble du cycle de vie et tendent à réduire au maximum les impacts négatifs ;
- ✓ Encourager la création d'un climat collaboratif et participatif avec toutes les catégories d'acteurs, en les impliquant dans des programmes de sensibilisation et d'engagement vers un nouveau modèle de production durable ;
- ✓ Communiquer au client de manière claire et transparente toutes les informations relatives à la bonne utilisation du produit/service proposé, en assurant une assistance après-vente adéquate ;
- ✓ Éviter l'évasion fiscale, selon un principe d'équité et de responsabilité fiscale dans
- ✓ Zones/territoires dans lesquels il opère ;
- ✓ Rendre compte de l'activité menée de manière claire et transparente vis-à-vis de ses parties prenantes en rédigeant le rapport de développement durable, en mettant l'accent sur la discussion des aspects qui ont été définis comme "importants" ensemble pour les parties prenantes.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3. 3. Production écologique dans le secteur textile

3.1. L'agenda stratégique d'innovation et de recherche pour l'industrie européenne du textile et de l'habillement

On s'inquiète de plus en plus des impacts environnementaux associés à la production et à la consommation de textiles. Cela comprend l'utilisation de produits chimiques dangereux, l'utilisation non durable des ressources et la mauvaise gestion des déchets. On estime que 20 % de la pollution des eaux douces dans le monde peut être liée au traitement et à la teinture des textiles (Veillard, 2018). Récemment, des inquiétudes ont été exprimées concernant la libération de microfibres plastiques dans l'approvisionnement en eau lors du lavage des textiles et sa contribution à la pollution de l'eau. En plus de cela, les émissions de gaz à effet de serre causées lors de la production de textiles sont considérées comme supérieures à celles du transport international [8]. De plus, du point de vue de l'économie circulaire, l'industrie textile est considérée comme gaspilleuse et polluante.

Selon le nouveau plan d'action pour une économie circulaire pour une Europe plus propre et plus compétitive, les textiles sont la quatrième catégorie de pression pour l'utilisation de matières premières primaires et d'eau, après l'alimentation, le logement et les transports, et la cinquième pour les émissions de GES [9]. Ainsi, la production écologique jouera un rôle crucial dans le domaine du textile au cours des prochaines années. ("Alors que le plan d'action pour l'économie circulaire guidera la transition de tous les secteurs, l'action se concentrera en particulier sur les secteurs à forte intensité de ressources tels que le textile, la construction, l'électronique et les plastiques" Green Deal.)

Compte tenu de la complexité de la chaîne de valeur du textile, pour répondre à ces défis, la Commission proposera une stratégie globale de l'UE pour les textiles, basée sur les contributions de l'industrie et d'autres parties prenantes. La stratégie visera à renforcer la compétitivité industrielle et l'innovation dans le secteur, à stimuler le marché européen des textiles durables et circulaires, y compris le marché de la réutilisation des textiles, à aborder la mode rapide et à stimuler de nouveaux modèles commerciaux.

Cet objectif sera atteint grâce à un ensemble complet de mesures, notamment :

- appliquer le nouveau cadre de produits durables aux textiles, notamment en élaborant des mesures d'écoconception pour garantir que les produits textiles sont adaptés à la circularité, en garantissant l'absorption de matières premières secondaires, en luttant contre la présence de produits chimiques dangereux et en donnant aux entreprises et aux consommateurs privés les moyens de choisir des textiles durables et avoir un accès facile aux services de réutilisation et de réparation ;
- améliorer l'environnement commercial et réglementaire pour les textiles durables et circulaires dans l'UE, notamment en offrant des incitations et un soutien aux modèles de produit en

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

tant que service, aux matériaux circulaires et aux processus de production, et en augmentant la transparence grâce à la coopération internationale ;

- fournir des orientations pour atteindre des niveaux élevés de collecte sélective des déchets textiles, que les États membres doivent garantir d'ici 2025 ;
- favoriser le tri, la réutilisation et le recyclage des textiles, notamment par l'innovation, l'encouragement des applications industrielles et des mesures réglementaires telles que la responsabilité élargie des producteurs.

Selon le programme stratégique d'innovation et de recherche pour l'industrie européenne du textile et de l'habillement 3, de puissants moteurs d'innovation auront un impact sur cette industrie dans les années à venir.

a) numérisation des produits, des processus, des usines, des lieux de travail, des chaînes d'approvisionnement, de la distribution et de la vente au détail ;
b) durabilité, circularité et efficacité des ressources des matériaux, des processus et des opérations commerciales globales
c) la prolifération de nouveaux modèles commerciaux et de consommation basés sur le partage des ressources productives et des produits finaux, la servicisation, les modèles de paiement à l'utilisation ou d'abonnement.

L'agenda stratégique d'innovation et de recherche, développé par la plateforme technologique européenne Fibres Textiles Habillement, en 2016, a identifié quatre thèmes d'innovation stratégique comme particulièrement impactantes pour le développement futur de l'industrie européenne du textile et de l'habillement :

1. Des matériaux intelligents et performants
2. Fabrication numérique avancée, chaînes de valeur et modèles commerciaux
3. Économie circulaire et efficacité des ressources
4. Des solutions à haute valeur ajoutée pour des marchés de croissance attractifs

3.2. Le thème d'innovation stratégique n.3 de l'agenda stratégique d'innovation et de recherche : économie circulaire et efficacité des ressources

L'industrie du textile et de l'habillement, comme tout autre secteur manufacturier, consiste à transformer des ressources - matériaux, énergie, eau, produits chimiques - en produits à valeur ajoutée pour les utilisateurs finaux professionnels ou privés. Raisons principales :

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Plusieurs processus de production textile, tels que la teinture et la finition, sont très gourmands en ressources.

La consommation de ces ressources n'étant pas gratuite, les entreprises sont naturellement incitées à les utiliser le plus efficacement possible.

Le durcissement de la législation sur l'efficacité énergétique, les émissions de CO2, l'utilisation de l'eau, la qualité des eaux usées ou la pollution de l'air incite l'industrie à rechercher une meilleure technologie pour combiner les avantages économiques et écologiques tout en respectant la loi.

Une meilleure performance environnementale dans la production commence également à être de plus en plus récompensée sur le marché en augmentant l'intérêt des consommateurs pour des produits textiles plus durables.

Afin de suivre cette tendance, l'industrie du textile et de l'habillement poursuit des approches d'innovation incrémentales et radicales. Approches incrémentales :

- mise à niveau régulière de la technologie de production ;
- emploi de meilleurs systèmes de surveillance et de contrôle;
- utilisation d'installations d'économie d'énergie ou de récupération d'énergie;
- systèmes de réutilisation de l'eau ou des produits chimiques;
- meilleures installations de traitement des eaux usées;

Démarches radicales d'innovation technologique :

- le passage du traitement textile humide au traitement sec en remplacement de la teinture conventionnelle;
- impression ou finition par impression numérique;
- teinture au CO2 supercritique, plasma, laser ou procédés d'enduction.

Les déchets de matériaux peuvent également être radicalement réduits en passant de l'assemblage coupé-cousu à la fabrication sans couture, par exemple dans les tricots ou la production 3D directe sans joint de textiles techniques ou de pièces composites.

3.3. Vision future 2025

D'ici 2025, l'industrie du textile et de l'habillement, y compris les matériaux à base de fibres, l'habillement, les textiles de maison et techniques, sera un secteur industriel stratégique de l'UE fournissant des produits innovants et compétitifs permettant des solutions personnalisées, adaptables et attrayantes, intégrant des services destinés à des consommateurs et à des consommateurs très divers, informés et exigeants. affaires.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Il fonctionnera selon un modèle économique circulaire mondialisé et efficace qui maximise l'utilisation des ressources locales, exploite des techniques de fabrication avancées et s'engage dans des collaborations intersectorielles et des clusters stratégiques. Il mettra en œuvre des modèles commerciaux rentables et inclusifs et attirera des entrepreneurs et des employés qualifiés et talentueux.

Références

[1] Greenofchange: Garmon Chemicals. *Inconvenient truth: fashion is one of the most polluting industries of the world*. Greenofchange.com. [Online]. Disponible sur : https://www.greenofchange.com/textile-pollution [Consulté le : Juin 28, 2021]

[2] European Parliament Think Tank (17.01.2019). *Environmental impact of the textile and clothing industry What consumers need to know*. European Parlament [Online]. Disponible sur : https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_BRI%282019%29633143 [Consulté le : Mai 26, 2021]

[3] A Beton et al. (authors), O. Wolf O, et al. (Editors). *Environmental Improvement Potential of textiles (IMPRO Textiles).* Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2014. JRC85895

[4] European Technology Platform for the Future of Textiles and Clothing (October 2016). *Towards a 4th Industrial Revolution of Textiles and Clothing. A Strategic Innovation and Research Agenda for the European Textile and Clothing Industry* [Online]. Disponible sur : https://www.textile-platform.eu/home/2016/10/17/new-strategic-innovation-and-research-agenda-released.html [Consulté le : Avril 24, 2021]

[5] Youmatter. Sustainability (2021/01/8). *What is it? Definition, Principles, Examples*. Youmatter. [Online]. Disponible sur : https://youmatter.world/en/definition/definitions-sustainability-definition-examples-principles/ [Consulté le : Juin 28, 2021]

[6] Sustainability at Ucla. *What is sustainability*. Sustain.ucla. [Online]. Disponible sur : https://www.sustain.ucla.edu/what-is-sustainability/ [Consulté le : Avril 22, 2021]

[7] ASviS. *Position Paper Goal 12*– II Edition. ASviS 2019 [Online]. Disponible sur : https://asvis.it/public/asvis/files/Goal_12_ASviS_-_Position_Paper_edizione_2019_-_agg.4-6-19.pdf [Consulté le : Avril 22, 2021]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[8] P. Veillard, The impact of fair trade on the sustainability of textile supply chains. Global context analysis. Fair trade textile and decent work. Oxfam-magasins du monde – Edition April 2018.

[9] ECDPM making policies work (December 2019). *Sewing the pieces together: towards an EU strategy for fair and sustainable textiles.* [Online]. Disponible sur : https://ecdpm.org/publications/sewing-pieces-together-towards-eu-strategy-fair-sustainable-textiles/ [Consulté le : Avril 22, 2021]

[10] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe.* [Online]. Disponible sur : https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF [Consulté le : Mai 26, 2021]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

1. **Question 1** : Quelles sont les quatre phases des impacts du cycle de vie de la chaîne de valeur des textiles ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Production et transformation ; Distribution ; Utiliser ; Fin de vie

b) Fabrication ; Distribution ; Utiliser ; Fin de vie

c) Traitement ; Distribution ; Utiliser ; Fin de vie

2. **Question 2** : Parmi les propositions suivantes, lesquelles peuvent être définies comme des approches progressives dans l'industrie du textile et de l'habillement ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) De meilleures installations de traitement des eaux usées ; mise à niveau régulière de la technologie de production ;

b) De meilleures installations de traitement des eaux usées ; teinture au CO2 supercritique, plasma, laser ou procédés d'enduction ;

c) Teinture au CO2 supercritique, plasma, laser ou procédés de revêtement ; meilleures installations de traitement des eaux usées.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 2.2 Normes environnementales et étiquetage

Lina Tsakalou, Maya Dimitriadou
CRE.THI.DEV

1. Introduction

Les produits chimiques sont partout autour de nous. Nous les utilisons dans notre vie de tous les jours et ils font partie de la plupart de nos activités quotidiennes. Ils sont utilisés dans tous les appareils, articles et aliments. Notre bien-être, notre qualité de vie, notre santé, notre sécurité et notre éducation en dépendent.

La production, l'utilisation et le commerce de produits chimiques sont essentiels pour les économies du monde entier et ne cessent de croître. Le chiffre d'affaires mondial de la chimie était évalué à 3 347 milliards d'euros en 2018 et leur production devrait doubler d'ici 2030 où l'Europe était le deuxième producteur (représentant 16,9 % des ventes) [1].

Cependant, il est reconnu que les avantages de l'utilisation de produits chimiques sont contrebalancés par les risques graves qu'ils présentent pour l'environnement ainsi que pour la santé humaine, comme en témoigne une augmentation des problèmes de santé qui peut s'expliquer en partie par l'utilisation de produits chimiques. Ce sont les raisons pour lesquelles leur contrôle et leur gestion sont cruciaux.

2. Législation environnementale de l'UE pour les produits chimiques

En réponse aux préoccupations croissantes concernant la sécurité des produits chimiques, l'UE dispose d'une législation complète sur les produits chimiques avec plus de 40 instruments législatifs pour assurer un niveau élevé de protection de la santé humaine et de l'environnement [2]. Les règlements REACH et CLP sont les piliers de cette législation, soutenus et accompagnés de bien d'autres, traitant de la sécurité des jouets, des cosmétiques, des biocides, des produits phytopharmaceutiques, des aliments, des agents cancérigènes sur le lieu de travail et de la législation sur la protection de l'environnement. La manipulation de produits chimiques qui interfèrent avec le système hormonal, appelés perturbateurs endocriniens, est également activement poursuivie par la Commission européenne.

Dans le cadre du Green Deal européen, la nouvelle législation européenne sur les « produits chimiques pour la durabilité » devrait être encore enrichie par de nouvelles politiques.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.1. Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques (REACH)

La réalisation la plus importante de la législation environnementale de l'UE pour les produits chimiques est le règlement REACH (CE 1907/2006), qui réglemente l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances dangereuses et les restrictions qui leur sont applicables. Elle est entrée en vigueur en juin 2007 et à partir de ce moment, l'industrie (et non les pouvoirs publics) est responsable de l'évaluation et de la gestion des risques posés par les produits chimiques et de la fourniture d'informations de sécurité appropriées aux utilisateurs. [3]

REACH vise à améliorer la protection de la santé humaine et de l'environnement. REACH vise également à renforcer l'innovation et la compétitivité de l'industrie chimique de l'UE. [4]

Ces objectifs doivent être atteints grâce à une identification meilleure et plus précoce des propriétés intrinsèques des substances chimiques, en utilisant les quatre processus de REACH, à savoir l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des substances chimiques.

Selon REACH, tous les fabricants et importateurs de produits chimiques doivent identifier et gérer les risques liés aux substances qu'ils produisent et vendent. Il est important de noter que ces obligations s'appliquent à un large éventail d'entreprises dans de nombreux secteurs, même celles qui ne se considèrent pas comme étant impliquées dans les produits chimiques en tant qu'utilisateurs en aval qui utilisent des produits chimiques, parfois même sans s'en rendre compte. Par conséquent, si une entreprise manipule des produits chimiques dans le cadre de son activité industrielle ou professionnelle, elle doit vérifier ses obligations car elle peut avoir certaines responsabilités au titre de REACH.[5]

Pour les substances fabriquées ou importées en quantités d'une tonne ou plus par an, par entreprise, cela doit être démontré dans un dossier d'enregistrement soumis à l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA). Un régime d'enregistrement spécial s'applique aux substances contenues dans des articles (par exemple, les produits manufacturés tels que les voitures, les textiles et les puces électroniques).[6] Pour tous les enregistrements, un dossier d'enregistrement doit être préparé et soumis par voie électronique via REACH-IT à l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA). Normalement, l'enregistrement doit être effectué avec succès et un numéro d'enregistrement REACH doit être attribué au déclarant avant qu'une substance puisse être fabriquée, importée ou mise sur le marché. [7]

Les dispositions d'évaluation de REACH donnent à l'ECHA la responsabilité de vérifier si les enregistrements sont conformes aux exigences du présent règlement.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'ECHA et les États membres évaluent les informations soumises par les entreprises afin d'examiner la qualité des dossiers d'enregistrement et des propositions d'essais et de clarifier si une substance donnée constitue un risque pour la santé humaine ou l'environnement.[6] L'évaluation de l'ECHA dans le cadre de REACH se concentre sur trois domaines différents :

- Contrôle de conformité des dossiers soumis par les déclarants
- Examen des propositions d'essais soumises par les déclarants, afin de s'assurer que l'évaluation des substances chimiques n'entraînera pas d'essais inutiles, en particulier sur des animaux, et que des informations adéquates sont fournies [5]
- Évaluation des substances [8]

Les autorités nationales sont responsables de l'application de REACH par le biais d'inspections ainsi que de l'imposition de sanctions en cas de non-conformité. Ils échangent des informations et coordonnent les activités liées à l'application par le biais du Forum d'échange d'informations sur l'application (le Forum). [6]

2.1.1. Substances extrêmement préoccupantes (SVHCs)

REACH comprend une exigence d'autorisation pour garantir que les risques liés aux substances extrêmement préoccupantes (SVHC) sont correctement contrôlés et que ces substances sont progressivement remplacées par des substances ou des technologies alternatives appropriées. Une autorisation peut être accordée si les risques liés à l'utilisation de la substance sont suffisamment maîtrisés ou si les avantages socio-économiques l'emportent sur les risques pour la santé humaine ou l'environnement.[6]

Un État membre ou l'ECHA, à la demande de la Commission, peut proposer qu'une substance soit identifiée comme SVHC.

Les substances présentant les propriétés dangereuses suivantes peuvent être identifiées comme SVHC :

- Substances répondant aux critères de classification cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction (CMR) de catégorie 1A ou 1B conformément au règlement CLP.
- Substances persistantes, bioaccumulables et toxiques (PBT) ou très persistantes et très bioaccumulables (vPvB) selon REACH Annexe XIII.
- Les substances, au cas par cas, qui causent un niveau de préoccupation équivalent à celui des substances CMR ou PBT/vPvB.[9]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

En juillet 2021, la liste des SVHC sur le site Web de l'ECHA contient 219 substances.[10] La liste a été publiée pour la première fois en 2008 et est régulièrement mise à jour avec de nouvelles substances par l'ECHA.

Dans le cas d'articles (articles) contenant des substances incluses dans la liste SVHC, les producteurs ou les importateurs de ces articles doivent notifier à l'ECHA si la substance est présente dans lesdits articles en quantités supérieures à une tonne par an, au total, et si la substance est plus plus de 0,1 % p/p en concentration dans ces articles ; à moins que le producteur ou l'importateur "ne puisse exclure l'exposition des êtres humains et de l'environnement lors de l'utilisation et de l'élimination de l'article". En outre, des informations concernant ces éléments seront publiées dans la base de données SCIP de la directive-cadre sur les déchets (DCE)[11], afin d'informer les exploitants de déchets et les consommateurs de ces substances.[12]

En ce qui concerne les substances telles quelles ou leurs mélanges, les producteurs ou les importateurs doivent fournir à leurs clients une fiche de données de sécurité ; s'il existe déjà une fiche de données de sécurité, elle doit être mise à jour avec les informations SVHC.

Dans le cas où une substance SVHC est présente dans un mélange non classé comme dangereux dans le règlement CLP, les fournisseurs de ces mélanges doivent fournir une fiche de données de sécurité, si :

- le mélange contient au moins une substance avec une concentration individuelle dans le mélange ≥ 0,1 % m/m pour les mélanges non gazeux ; et
- cette substance figure sur la liste des SVHC en tant que PBT ou vPvB ou en tant que substance suscitant un niveau de préoccupation équivalent.

2.1.2. Liste des substances réglementées REACH (REACH annexe XVII)

Pour certaines substances entraînant un risque inacceptable pour la santé humaine ou l'environnement, les États membres ou la Commission européenne, via l'ECHA, peuvent proposer des restrictions à l'échelle de l'UE concernant leur fabrication, leur utilisation ou leur mise sur le marché [6], [13]. Il convient de noter que des restrictions peuvent s'appliquer à toute substance telle quelle, contenue dans un mélange ou dans un article, y compris celles qui ne nécessitent pas d'enregistrement.

La liste est souvent appelée liste des substances réglementées REACH ou simplement annexe XVII de REACH.[7],[13] La liste, qui se trouve sur le site Web de l'ECHA [14], est régulièrement mise à jour avec de nouvelles informations. La liste, en date d'août 2021, contient 69 entrées uniques, dont chacune indique une substance ou un groupe de substances ou une substance dans un mélange, et les conditions de restriction qui en découlent.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les restrictions peuvent être totales (la substance ne peut pas du tout être utilisée) ou pour des utilisations spécifiques.

Par exemple, l'entrée 43 pour "Colorants azoïques et colorants azoïques", décrit les restrictions pour un groupe de substances et de mélanges de substances (amines aromatiques) souvent inclus dans certains colorants, dont l'utilisation dans des articles commercialisés dans l'UE est totalement restreinte, si elle est détectée, comme les textiles et les articles en cuir, y compris les teintures elles-mêmes.[15]

Pour les fabricants et fournisseurs de textiles, la liste SVHC est d'une grande importance. Plusieurs produits chimiques trouvés dans les colorants et les finitions peuvent être trouvés dans la liste des SVHC, tels que les colorants azoïques mentionnés ci-dessus, ou les produits chimiques perfluoroalkylés (PFAS) qui est un grand groupe de produits chimiques couramment utilisés comme hydrofuges et anti-graisse dans les textiles et le cuir, ainsi que les métaux dans les fermetures et les fermetures à glissière, ainsi que le matériel d'emballage des produits.

2.2. Classification, étiquetage et emballage (CLP)

En janvier 2009, le Parlement européen et le Conseil ont adopté le règlement sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges (CLP) (CE 1272/2008). [16]

Le règlement CLP est le principal élément législatif utilisé dans l'UE pour identifier et communiquer les propriétés dangereuses des produits chimiques. Il découle de la norme mondiale des Nations Unies pour les critères de classification et les règles d'étiquetage, le Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH), mais introduit de nouveaux critères de classification, des symboles de danger (pictogrammes) et des phrases d'étiquetage, tout en tenant compte des éléments qui font partie de la législation européenne antérieure.

Le règlement décrit comment les fournisseurs classeront, étiquetteront et emballeront les produits chimiques de manière appropriée pour garantir que les dangers présentés par ces produits chimiques sont clairement communiqués aux travailleurs et aux consommateurs dans l'UE. [17]

Des pictogrammes sont utilisés pour les risques pour la santé, les risques physico-chimiques et les risques environnementaux. Les avertissements sont utilisés avec le mot « danger » ou « avertissement ». Il existe également des mentions de danger (mentions H) et des conseils de prudence (mentions P). [20]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Item	Pictogram	Hazard	Item	Pictogram	Hazard
1		Explosive	6		Corrosive
2		Acute toxicity	7		Serious health hazard
3		Hazardous to the environment	8		Gas under pressure
4		Oxidizing	9		Flammable
5		Health hazard / Hazardous to the ozone layer			

Figure 1. Étiquetage des produits chimiques selon CLP [18]

CLP et REACH sont complémentaires en ce qui concerne les obligations des fournisseurs de produits chimiques. L'exigence de classification est décrite dans REACH alors que le CLP décrit les critères de classification. Ils ont tous deux des exigences en matière de communication des dangers : le CLP fixe des règles d'étiquetage, tandis que REACH impose la rédaction de fiches de données de sécurité. Cependant, les étiquettes doivent toujours être utilisées conjointement avec les fiches de données de sécurité. En bref, la principale caractéristique de REACH est l'enregistrement et celle du CLP est la classification.[19]

2.3. La prochaine étape : la stratégie de l'UE en matière de produits chimiques pour la durabilité

Dans le cadre du Green Deal européen, conformément à l'ambition zéro pollution de l'UE, la Commission européenne a publié sa stratégie sur les produits chimiques pour le développement durable le 14 octobre 2020 [1]. La stratégie aspire à un environnement sans produits toxiques, où les

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

produits chimiques sont produits et utilisés de manière à maximiser leur contribution à la société, y compris la réalisation de la transition verte et numérique, tout en évitant de nuire à la planète et aux générations actuelles et futures. [1]

Malgré l'importante législation relative à la réglementation des produits chimiques, "actuellement, près de 30 % des alertes sur les produits dangereux sur le marché impliquent des risques dus aux produits chimiques, avec près de 90 % de ces produits provenant de l'extérieur de l'UE et des articles importés et des ventes en ligne représentant un défi particulier. De même, seul un tiers des dossiers d'enregistrement des substances chimiques enregistrées par l'industrie au titre de REACH sont pleinement conformes aux exigences d'information", selon la stratégie. En outre, les exigences et les procédures de conformité varient considérablement d'un pays de l'UE à l'autre. Par exemple, en 2018, plus de 120 pays n'avaient pas mis en œuvre le Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (Programme des Nations Unies pour l'environnement - PNUE) [1].

Pour ces raisons, dans le cadre de la nouvelle stratégie de l'UE en matière de produits chimiques pour la durabilité, la Commission a défini des procédures pour la révision ciblée de deux des plus importants textes législatifs concernant les produits chimiques : le REACH et le CLP. Les révisions contribueront à atteindre un niveau légitimement plus élevé de protection des citoyens et de l'environnement contre les produits chimiques dangereux.

En ce qui concerne la révision du CLP en particulier, la Commission examinera, entre autres, différentes mesures et options pour introduire de nouvelles catégories de danger (telles que les perturbateurs endocriniens ainsi que la persistance, la bioaccumulation et la toxicité) et des critères de classification.

En mai 2021, deux évaluations d'impact initiales (feuilles de route) ont été publiées ; un sur la révision du règlement CLP et un sur la révision du règlement REACH ; les feuilles de route donnent un aperçu des problèmes à résoudre, des options possibles sur la façon dont la modification des deux règlements pourrait aider à résoudre ces problèmes, et une première évaluation des impacts potentiels de ces changements. Une consultation publique ultérieure est prévue pour recueillir d'autres commentaires des citoyens, des institutions et des organisations des secteurs public et privé. La consultation publique pour la révision du règlement CLP devait être lancée fin juin 2011 ; pour le règlement REACH, il devrait commencer en 2022. [20]

3. 3. Évaluation de la conformité - Certification

Afin de démontrer qu'un produit, un service ou un système satisfait aux exigences d'une norme, il doit subir une procédure d'évaluation de la conformité. Il existe plusieurs façons de le faire, mais les principales formes sont les tests et la certification.[21]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Le test est la plus simple des deux formes. Elle concerne la détermination d'une ou plusieurs des caractéristiques d'un objet ou d'un produit et est généralement effectuée par un laboratoire. Par exemple, les textiles peuvent être testés pour la résistance à la déchirure, pour montrer si l'article en question est suffisamment résistant à la déchirure, ou un article textile peut être analysé pour la détection de substances nocives.

La certification, quant à elle, est la fourniture par un organisme indépendant d'une assurance écrite (un certificat) que le produit, le service ou le système en question répond à des exigences spécifiques. De cette manière, la certification peut ajouter de la crédibilité à une allégation en démontrant qu'un produit ou un service répond aux attentes des clients. Pour certaines industries, la certification est une exigence légale ou contractuelle.

3.1. Certification du produit

Les certifications de produit sont des attestations qu'un produit a subi une évaluation de conformité effectuée par un tiers selon un système de certification de produit avec des exigences spécifiques au produit en matière de sécurité, de qualité, de durabilité ou de performance. Les exigences peuvent être stipulées dans des réglementations obligatoires, des lois, des accords ou d'autres contrats convenus par les parties intéressées.

Chaque aspect du développement d'un produit est évalué, depuis les tests de produits et les analyses de matériaux jusqu'aux inspections et audits d'usines. La certification des produits comprend généralement à la fois l'évaluation des produits et l'évaluation des processus et des services. Lors de la détermination des caractéristiques pour la certification du produit, l'évaluateur utilise les spécifications techniques et les méthodes de test normalisées disponibles, telles que les normes EN ou ISO.

3.1.1. Certifications de produit obligatoires

Certains produits sont jugés suffisamment importants pour être réglementés quant à leurs caractéristiques avant leur mise sur le marché. Cela se fait à l'aide de systèmes de certification obligatoires, c'est-à-dire que le produit doit subir une procédure d'évaluation de la conformité selon les spécifications stipulées dans les lois et règlements. La certification peut être délivrée par une autorité publique, mais ce n'est pas obligatoire, selon les règlements de certification.

Un exemple de certification de produit obligatoire est le marquage CE, qui est apposé pour indiquer que le produit est conforme à certaines législations de l'UE. Selon le nouveau cadre législatif qui prend en charge le marquage CE, un fabricant ne peut mettre un produit sur le marché de l'UE que s'il satisfait à toutes les exigences applicables. La procédure d'évaluation de la conformité est effectuée avant que

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

le produit puisse être vendu. [22] L'objectif principal est de contribuer à garantir que des produits dangereux ou autrement non conformes ne se retrouvent pas sur le marché de l'UE. Cependant, tous les produits ne doivent pas avoir le marquage CE. Elle n'est obligatoire que pour la plupart des produits couverts par les directives « nouvelle approche ». Il est interdit d'apposer le marquage CE sur d'autres produits. [23]

Aucune des directives pertinentes de l'UE n'est directement liée aux produits textiles en tant que tels. Les textiles sont liés indirectement par leur utilisation dans des produits finaux tels que les vêtements de protection et les gants de protection ; celles-ci sont couverts par le règlement (UE) 2016/425 (anciennement par la directive 89/686/CE sur les équipements de protection individuelle, abrogée et remplacée en avril 2018).

3.1.2. Certifications volontaires de produits : Labels produits - Ecolabels

Les certifications volontaires de produits ou labels de qualité, comme on les appelle fréquemment, sont des certifications de produits selon des exigences spécifiques qui, contrairement aux certifications de produits obligatoires, résultent d'un accord entre toutes les parties intéressées. Comme leur nom l'indique, ils sont volontaires ; aucune législation n'impose les spécifications adoptées pour le produit ou son acquisition par le fabricant.

Presque tous les labels de qualité connus pour les textiles et les produits connexes sont des écolabels. L'éco-étiquetage est une méthode volontaire courante de certification et d'étiquetage des performances environnementales qui est pratiquée dans le monde entier. Les « écolabels » sont des labels qui déterminent les exigences environnementales pour certaines catégories de produits ou de services, sur la base de considérations liées au cycle de vie. Les écolabels sont soit spécifiques à un produit, soit à la fois spécifiques à un produit et à un processus. Contrairement aux symboles «verts» ou aux déclarations d'allégations développées par les fabricants et les prestataires de services, un écolabel est attribué uniquement par un tiers impartial.

En Europe, il existe une longue liste de divers labels écologiques pour une vaste gamme de produits.[24]

Le label écologique de l'UE a été fondé et est soutenu par la DG Environnement de l'UE ; il est régi par le règlement CE n° 1980/2000 et est décerné par les États membres de l'UE par l'intermédiaire d'autorités désignées. [25] Le label écologique de l'UE peut être appliqué aux textiles (selon la décision 2014/350/UE) afin de répondre à des critères garantissant :

- Utilisation limitée de substances nocives pour la santé et l'environnement
- Réduction de la pollution de l'eau et de l'air
- Résistance des couleurs à la transpiration, au lavage, au frottement humide et

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

sec et à l'exposition à la lumière [26]

Le Standard 100 by OEKO-TEX® est un label de produit indépendant pour tous les types d'articles textiles, à chaque étape de traitement, des fils à la les tissus finis et les articles finis, y compris les fils, les boutons, les fermetures à glissière et les doublures, ainsi que les imprimés et les revêtements appliqués sur le matériau extérieur sont soumis à des tests de détection de substances nocives.[27]

MADE IN GREEN by OEKO-TEX® est un autre label produit par OEKO-TEX, qui identifie toutes sortes de textiles et de maroquinerie testés pour les substances nocives et qui ont été fabriqués dans des conditions durables et socialement responsables (vêtements, textiles de maison, tissus, non -tissés, accessoires textiles et composants non textiles, matériaux en fibres de cuir, vêtements en cuir, accessoires en cuir tels que gants en cuir, sacs en cuir et chaussures en cuir ainsi que certaines peaux (peau de mouton, peau d'agneau, peau de vache)). En plus d'avoir été testés selon le STANDARD 100 ou le LEATHER STANDARD by OEKO-TEX®, les articles doivent également être fabriqués dans des installations certifiées STeP.[28] STeP signifie Sustainable Textile & Leather Production et est un système de certification modulaire pour les installations de production de l'industrie du textile et du cuir. L'objectif de STeP est de mettre en place des processus de production respectueux de l'environnement sur le long terme, d'améliorer la santé et la sécurité et de promouvoir des conditions de travail socialement responsables sur les sites de production. [29]

Un autre écolabel populaire en Europe est l'Ange bleu (Blauer Engel), un label environnemental de produit organisé par le gouvernement fédéral allemand pour la protection des personnes et de l'environnement, qui couvre une longue liste de produits. Tout comme le MADE IN GREEN by OEKO-TEX®, l'Ange Bleu considère des facteurs au-delà des substances nocives dans les matériaux des articles et des considérations environnementales classiques, et prend également en compte les aspects sociaux de la production textile, tels que les conditions de travail dans la production .[30]Le label de produit « Ange bleu pour les textiles » (DE-UZ 154) couvre les produits fabriqués à partir d'au moins 90 % en poids de fibres textiles : à partir de vêtements textiles et d'accessoires textiles, de fibres, de fils, de textiles tissés ou non tissés, literie aux textiles techniques. [31].

Il existe également le « Nordic Swan », un label écologique pour les pays nordiques, qui s'applique aux textiles, aux cuirs/peaux et au cuir, et couvre un large éventail de types de produits - tels que les vêtements pour enfants et adultes, les sous-vêtements, les jeans, vêtements de travail, textiles d'intérieur, linge de lit, serviettes, couettes, oreillers et tissus d'ameublement, qui doivent répondre à une série d'exigences environnementales, sanitaires et de qualité. [32]

3.2. Systèmes de management environnemental (ISO 14001, EMAS)

Un système de gestion est la manière dont une organisation gère les parties interdépendantes de son activité afin d'atteindre ses objectifs. [33] Ces objectifs peuvent porter sur un certain nombre de sujets

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

différents, notamment la qualité des produits ou des services, l'efficacité opérationnelle, la performance environnementale, la santé et la sécurité au travail et bien d'autres.

Le niveau de complexité du système dépend du contexte spécifique de chaque organisation. Pour certaines organisations, en particulier les plus petites, cela peut simplement signifier avoir un leadership fort de la part du propriétaire de l'entreprise, fournir une définition claire de ce qui est attendu de chaque employé et de la manière dont il contribue aux objectifs généraux de l'organisation, sans avoir besoin d'une documentation approfondie.[34] Les entreprises plus complexes peuvent avoir besoin d'une documentation et de contrôles étendus afin de remplir leurs obligations légales et d'atteindre leurs objectifs organisationnels.

Selon l'Organisation internationale de normalisation [30], les avantages d'un système de gestion efficace pour une organisation comprennent :

- *Une utilisation plus efficace des ressources et une meilleure performance financière,*
- *Amélioration de la gestion des risques et de la protection des personnes et de l'environnement, et*
- *Capacité accrue à fournir des services et des produits cohérents et améliorés, augmentant ainsi la valeur pour les clients et toutes les autres parties prenantes*.

Les normes de système de management, telles que publiées par l'ISO, par exemple, définissent en général les critères d'évaluation du système de management et fournissent des orientations pour leur mise en œuvre réussie. La certification à une norme n'est pas une exigence. Les entreprises peuvent bénéficier de la mise en œuvre de ces normes sans être certifiées. Cependant, si l'on cherche à obtenir une certification selon une ou plusieurs des normes de système de gestion existantes, un organisme de certification externe est alors tenu d'effectuer l'évaluation de la conformité et d'attribuer la certification.

Selon l'AEE (Agence européenne pour l'environnement), un système de gestion environnementale (SME) est "un moyen d'assurer la mise en œuvre efficace d'un plan ou de procédures de gestion environnementale et le respect des objectifs et cibles de la politique environnementale".[35]

ISO 14001 et EMAS (EU Eco-Management and Audit Scheme) sont deux des systèmes de certification les plus connus d'un SME.

Selon le dernier BREF (Document de référence sur les meilleures techniques disponibles (MTD)) pour l'industrie textile, tel que publié par le Bureau européen de prévention et de réduction intégrées de la pollution (EIPPCB), un système de management environnemental peut fournir :

- Amélioration des performances environnementales.
- Une meilleure compréhension des aspects environnementaux de l'entreprise qui

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

peuvent être utilisés pour répondre aux exigences environnementales des clients, des autorités réglementaires, des banques, des compagnies d'assurance ou d'autres parties prenantes (par exemple, les personnes vivant ou travaillant à proximité de l'installation).

- Amélioration de la base de prise de décision.
- Amélioration de la motivation du personnel (par exemple, les responsables peuvent être sûrs que les impacts environnementaux sont maîtrisés et les employés peuvent sentir qu'ils travaillent pour une entreprise respectueuse de l'environnement).
- Opportunités supplémentaires de réduction des coûts d'exploitation et d'amélioration de la qualité des produits.
- Amélioration de l'image de l'entreprise.
- Réduction des frais de responsabilité, d'assurance et de non-conformité. [36]

3.2.1. ISO 14001 :2015 - Systèmes de management environnemental — Exigences avec guide d'utilisation

ISO 14001 est l'une des normes qui ont été élaborées dans le but d'aider les organisations à adopter une approche proactive de la gestion des questions environnementales. C'est l'un des cadres les plus reconnus au monde pour les systèmes de gestion environnementale. Il peut être mis en œuvre dans tout type d'organisation des secteurs public ou privé. Il aide les organisations à mieux gérer l'impact de leurs activités sur l'environnement ainsi qu'à démontrer une saine gestion environnementale. L'édition 2015 est la dernière version de la norme.

L'ISO 14001 peut être intégrée à n'importe quel système de management ISO existant basé sur d'autres normes ISO qui examinent différents types de systèmes de management, comme l'ISO 9001 pour le management de la qualité et l'ISO 45001 pour la santé et la sécurité au travail.

La certification de conformité à la norme n'est pas une exigence de l'ISO 14001 ; une organisation peut bénéficier de la mise en œuvre des exigences de la norme sans être certifiée. Cependant, s'ils souhaitent faire certifier leur SME par un organisme de certification indépendant qui auditera les pratiques de l'organisation par rapport aux exigences de la norme, cela aidera, à tout le moins, à prouver la bonne mise en œuvre de la norme ; même assurer la conformité aux exigences réglementaires ou autres.[37] Selon l'ISO Survey of Management System Standard Certifications pour 2019, 312 580 certificats valides avaient été délivrés dans le monde pour la norme ISO 14001.[38]

3.2.2. Système européen de management environnemental et d'audit (EMAS)

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Le système européen de management environnemental et d'audit (EMAS) est un outil de gestion développé par la Commission européenne. Il est destiné aux entreprises et autres organisations pour évaluer, rapporter et améliorer leurs performances environnementales, quel que soit le type d'organisation, dans l'UE et dans le monde.[39] Elle ajoute plusieurs éléments aux exigences de la norme internationale EN ISO 14001.

L'EMAS a été introduit pour la première fois (par le biais du règlement 1836/93) en juillet 1993. À l'époque, il avait été introduit en tant *qu'outil de politique environnementale conçu par la Commission européenne dans le cadre de la réalisation de l'objectif communautaire de développement durable ; son champ d'application limitait initialement la participation aux entreprises du secteur industriel*. [40]

Le schéma a été révisé depuis, pour incorporer des composants correspondant à la norme ISO 14001 et pour faciliter la participation de toute organisation de n'importe quel pays du monde.

La version actuelle est EMAS III (règlement (CE) n° 1221/2009). Ses annexes I, II, III ont également été mises à jour en 2017 (avec le règlement (UE) 2017/1505) pour inclure les changements liés à l'ISO 14001 et l'annexe IV a été modifiée en 2019 (avec le règlement UE 2018/2026).

Selon le guide de l'utilisateur EMAS, l'objectif de l'EMAS est de promouvoir l'amélioration continue des performances environnementales des organisations par l'établissement et la mise en œuvre de systèmes de gestion environnementale par les organisations, l'évaluation systématique, objective et périodique des performances de ces systèmes, la fourniture d'informations sur les performances environnementales, un dialogue ouvert avec le public et les autres parties intéressées et l'implication active des employés dans les organisations et une formation appropriée. [41]

L'adhésion à l'EMAS comprend un processus d'enregistrement effectué par les organismes compétents de chaque pays.[42] Selon EMAS Helpdesk, en septembre 2020, un total de 3 838 organisations et 12 751 sites étaient enregistrés dans le système EMAS.[43]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] EUR-Lex. 2020-10-14. “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS - Chemicals Strategy for Sustainability Towards a Toxic-Free Environment”. [Online]. Disponible sur : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0667 [Consulté le : Juin 12, 2021]

[2] ECHA (European Chemicals Agency). *Legislation*. ECHA. [Online]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/legislation [Consulté le : Juin 13, 2021]

[3] Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC. OJ L 396, 30.12.2006, p. 1–849

[4] European Commission. *REACH*. Environment. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_en.htm [Consulté le : Mai 26, 2021]

[5] ECHA - European Chemicals Agency. Legislation. ECHA. [Online]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/regulations/reach/understanding-reach [Consulté le : Mai 26, 2021]

[6] European Commission. How REACH works. Growth - Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/growth/sectors/chemicals/reach/about_en [Consulté le : Mai 26, 2021]

[7] ChemSafetyPRO (2015-12-30). EU REACH Regulation (EC) No 1907/2006. ChemSafetyPro.COM - Free and Original Chemical Safety and Regulatory Tutorials and References. [Online]. Available at https://www.chemsafetypro.com/Topics/EU/REACH_Regulation_EC_No_1907_2006.html [Consulté le : June 13, 2021]

[8] ECHA - European Chemicals Agency. *Evaluation.* ECHA. [Online]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/regulations/reach/evaluation [Consulté le : June 14, 2021]

[9] ECHA - European Chemicals Agency. *Authorisation.* ECHA. [Online]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/substances-of-very-high-concern-identification-explained [Consulté le : Juin 14, 2021]

[10] ECHA - European Chemicals Agency. *Candidate List of substances of very high concern for Authorisation*. ECHA. [Online]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/candidate-list-table [Consulté le : Juin 14, 2021]

[11] ECHA - European Chemicals Agency. *SCIP.* ECHA. [Online]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/scip [Consulté le : Juin 14, 2021]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[12] ECHA - European Chemicals Agency. *Summary of obligations resulting from inclusion of SVHCS in the Candidate List*. ECHA. [Online]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/candidate-list-obligations [Consulté le : Juin 14, 2021]

[13] ChemSafetyPRO [Online]. 2015-12-30. *REACH Annex XVII: REACH Restricted Substance List 2021*. ChemSafetyPro.COM - Free and Original Chemical Safety and Regulatory Tutorials and References. [Online]. Disponible sur : https://www.chemsafetypro.com/Topics/EU/REACH_annex_xvii_REACH_restricted_substance_list.html [Consulté le : Juin 14, 2021]

[14] ECHA - European Chemicals Agency. *Substances restricted under REACH*. ECHA. [Online]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/substances-restricted-under-reach [Consulté le : Juin 14, 2021]

[15] ECHA - European Chemicals Agency. *Substances restricted under REACH- Azocolourants and Azodyes- Entry 43*. ECHA. [Online]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/substances- restricted-under-reach/-/dislist/details/0b0236e1807e2abe [Consulté le : June 14, 2021]

[16] REGULATION (EC) No 1272/2008 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006. OJ L 353, 31.12.2008, p. 1–1355.

[17] European Commission, DG for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Environment. The classification, labelling and packaging of chemical substances and mixtures. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/chemicals/labelling/index_en.htm [Consulté le : Mai 26, 2021]

[18] SGS. 2017-01-22. *Does Your Mixture Need to be Relabeled According to CLP from June 1, 2017*. SGS. [Online]. Disponible sur : https://www.sgs.com/en/news/2017/01/does-your-mixture-need-to-be-relabeled-according-to-clp-from-june-1-2017 [Consulté le : Mai 26, 2021]

[19] CIRS. *REACH Regulation & CLP Regulation*. CIRS- Chemical Inspection and Regulation Service. [Online]. Disponible sur : https://www.cirs-reach.com/REACH/REACH_CLP.html [Consulté le : Mai 26, 2021]

[20] European Commission (2021-05-07). *Chemical strategy: Commission publishes roadmaps on the revision of REACH and CLP*. Environment. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/news/chemicals-strategy-commission-publishes-roadmaps-revision-reach-and-clp-2021-05-07_en [Consulté le : Mai 26, 2021]

[21] ISO - International Organization for Standardization. *ISO - Certification & conformity*. ISO - International Organization for Standardization. [Online]. Disponible sur : https://www.iso.org/conformity-assessment.html [Consulté le : Mai 26, 2021]

[22] European Commission, DG for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. *Conformity assessment*. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. [Online]. Disponible sur :

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

https://ec.europa.eu/growth/single-market/goods/building-blocks/conformity-assessment_en [Consulté le : Mai 26, 2021]

[23] European Commission, DG for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. *CE marking*. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking_en [Consulté le : Mai 27, 2021]

[24] European Commission, DG Environment. *List of existing EU and International Eco-labels*. [Online]. Disponible sur : Environment. https://ec.europa.eu/environment/ecolabel/other-ecolabels.html [Consulté le : Mai 27, 2021]

[25] European Commission, DG Environment. *EU Ecolabel Products and Services*. Environment. [Online]. Disponible sur : http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/eu-ecolabel-products-and-services.html [Consulté le : Mai 27, 2021]

[26] European Commission, DG Environment. *EU Ecolabel Clothing and Textiles*. Environment. [Online]. Disponible sur : http://ec.europa.eu/ecat/category/en/14/textile-products [Consulté le : Mai 27, 2021]

[27] OEKO-TEX. *STANDARD 100 by OEKO-TEX®*. OEKO-TEX® - Tailor-made solutions for the textile and leather industry. [Online]. Disponible sur : https://www.oeko-tex.com/en/our-standards/standard-100-by-oeko-tex [Consulté le : Mai 27, 2021]

[28] OEKO-TEX. *MADE IN GREEN by OEKO-TEX®. OEKO-TEX®* - Tailor-made solutions for the textile and leather industry. [Online]. Disponible sur : https://www.oeko-tex.com/en/our- standards/made-in-green-by-oeko-tex [Consulté le : Mai 27, 2021]

[29] OEKO-TEX. *STeP by OEKO-TEX®*. OEKO-TEX® - Tailor-made solutions for the textile and leather industry. [Online]. Disponible sur : https://www.oeko-tex.com/en/our-standards/step-by-oeko-tex [Consulté le : Mai 27, 2021]

[30] RAL gGmbH. *Blue Angel - Our label for the environment*. Blue Angel the German Ecolabel. [Online]. Disponible sur : https://www.blauer-engel.de/en/our-label-environment [Consulté le : Mai 27, 2021]

[31] RAL gGmbH. *The Blue Angel for textiles (DE-UZ 154) - Information for manufacturers and retailers*. Blue Angel the German Ecolabel. [Online]. Disponible sur : https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/attachment/en/BE_Factsheet_Textilien_ENG_2021-02-11_WEB.pdf [Consulté le : Mai 27, 2021]

[32] Nordic Ecolabelling. Group Textiles, hides/skins and leather. Nordic Ecolabel. [Online]. Disponible sur : https://www.nordic-ecolabel.org/product-groups/group/?productGroupCode=039 [Consulté le : Mai 27, 2021]

[33] ISO Update (2019-10-28). *What is an ISO Management System – What you should know about ISO 9001:2015*. ISO Update. [Online]. Disponible sur : https://isoupdate.com/general/what-is-an- iso-management-system-what-you-should-know-about-iso-90012015/ [Consulté le : Mai 30, 2021]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[34] ISO - International Organization for Standardization. *ISO - Management system standards*. ISO - International Organization for Standardization. [Online]. Disponible sur : https://www.iso.org/management-system-standards.html [Consulté le : Mai 30, 2021]

[35] European Environment Agency. *Environmental management system*. European Environment Agency. [Online]. Disponible sur : https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/environmental-management-system [Consulté le : Mai 30, 2021]

[36] European Commission, European IPPC Bureau. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Textiles Industry - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) - JOINT RESEARCH CENTR E-Directorate B – Growth and Innovation - Circular Economy and Industrial Leadership Unit - European IPPC Bureau, Draft 1 (December 2019), p.311. [Online]. Disponible sur : https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/textiles-industry. [Consulté le : Mai 30, 2021]

[37] ISO - International Organization for Standardization. *ISO 14001 - Key Benefits*. ISO - International Organization for Standardization. Online]. Disponible sur : https://committee.iso.org/publication/PUB100372.html [Consulté le : Mai 30, 2021]

[38] ISO - International Standards Organisation. *The ISO Survey of Management System Standard Certifications – 2019 – Explanatory Note*, September 2020. ISO - International Standards Organisation. [Online]. Disponible sur : https://www.iso.org/the-iso-survey.html [Consulté le : Mai 30, 2021]

[39] European Commission. *Eco-Management and Audit Scheme-What is EMAS*? Environment. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm [Consulté le : Mai 30, 2021]

[40] European Commission. *Eco-Management and Audit Scheme-Policy*. Environment. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/emas/emas_publications/policy_en.htm. [Consulté le : Mai 30, 2021]

[41] COMMISSION DECISION (EU) 2017/2285 of 6 December 2017 Amending the user's guide setting out the steps needed to participate in EMAS, under Regulation (EC) No 1221/2009 of the European Parliament and of the Council on the voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS)(notified under document C(2017) 8072). OJ L 328, 12.12.2017, p. 38–86

[42] European Commission. *Eco-Management and Audit Scheme-Competent Bodies*. Environment. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/emas/emas_contacts/competent_bodies_en.htm [Consulté le : Mai 30, 2021]

[43] European Commission. *Eco-Management and Audit Scheme-Statistics & graphs*. Environment. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/emas/emas_registrations/statistics_graphs_en.htm [Consulté le : Mai 30, 2021]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1: Norme 100 par OEKO-TEX®:

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) est une certification de produit volontaire
b) est une certification de produit obligatoire
c) est un système de management environnemental

Question 2: REACH signifie:

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques
b) Recherche, évaluation, audit et restriction des produits chimiques
c) Enregistrement, évaluation, audit et restriction des produits chimiques

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 2.3 Bonnes pratiques en matière de durabilité textile

Marta Casadesús,
AEI Tèxtils

1. Introduction

L'habillement représente entre 2 % et 10 % de l'impact environnemental de la consommation de l'UE. La production de matières premières, leur filature en fibres, le tissage de tissus et la teinture nécessitent d'énormes quantités d'eau et de produits chimiques, y compris des pesticides pour la culture de matières premières telles que le coton, entre autres. L'utilisation par les consommateurs a également une part dans l'empreinte environnementale en raison de l'eau, de l'énergie et des produits chimiques utilisés dans la vie du vêtement (lavage, sèche-linge, repassage...) [1].

Diverses façons de résoudre ces problèmes ont été proposées, notamment le développement de nouveaux modèles commerciaux pour la location de vêtements, la conception de produits de manière à faciliter la réutilisation et le recyclage (mode circulaire), la conviction des consommateurs d'acheter moins de vêtements de meilleure qualité (slow fashion) et, de manière générale, l'orientation du comportement des consommateurs vers le choix d'options plus durables. [3].

Figure 1. Impact environnemental des textiles [3]

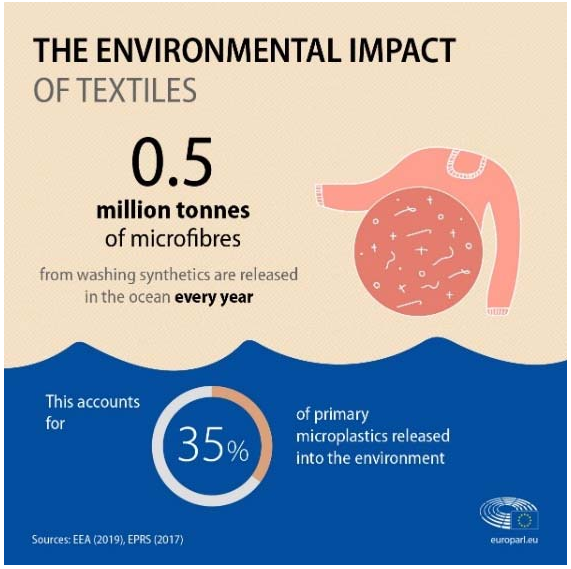


Figure 2. Impact de microfibres [3]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

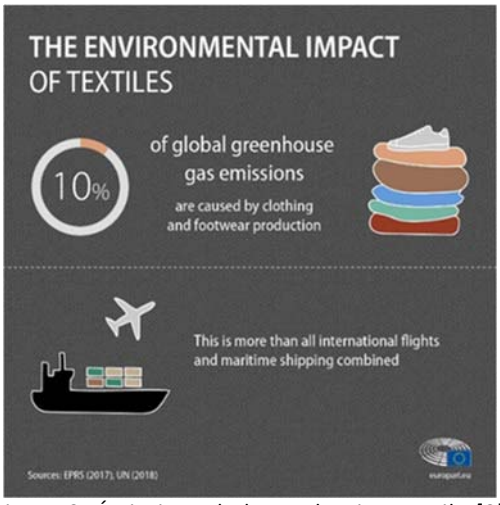


Figure 3. Émissions de la production textile [3]

Ainsi, les vêtements, les chaussures et les textiles ménagers sont responsables de la pollution de l'eau, des émissions de gaz à effet de serre et de la pollution par les microfibres, entre autres. C'est pourquoi les principes de circularité doivent être mis en œuvre à toutes les étapes de la chaîne de valeur pour faire de l'économie circulaire un succès. De la conception à la production, jusqu'au consommateur.

La durabilité et l'économie circulaire deviennent des moteurs clés pour les entreprises textiles afin d'accroître leur compétitivité basée sur l'innovation. Le nouveau paradigme vise à boucler la boucle de l'économie linéaire des matières premières, de la production et des déchets vers de nouveaux modèles commerciaux basés sur l'éco-conception et l'efficacité des ressources, la récupération des déchets au sein de la chaîne de valeur textile, la collaboration intersectorielle et la symbiose industrielle.

Chaque étape de la chaîne textile se concentre sur différents aspects de la durabilité, qui peuvent être:

- Facteurs de production, y compris la consommation d'eau et d'énergie.
- La disponibilité de matières premières durables, leurs origines et leurs processus de production.
- Les effets de la production de déchets (pré et post consommation).
- L'utilisation de produits chimiques, y compris les colorants et les revêtements.
- La responsabilité sociale des entreprises envers les employés et les communautés entourant les usines.
- Risques pour la santé des travailleurs du textile et des consommateurs.
- Bien-être animal (achat de laine ou de du dux).
- Principes d'éco-conception pour l'économie circulaire.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'économie circulaire et l'éco-conception sont deux concepts clés aujourd'hui pour le développement de stratégies durables sur le marché industriel.

1.1. Qu'est-ce que l'économie circulaire ?

L'économie circulaire est une approche systémique du développement économique conçue pour bénéficier aux entreprises, à la société et à l'environnement. Contrairement au modèle linéaire « prendre-fabriquer-gaspiller », une économie circulaire est régénératrice par conception et vise à découpler progressivement la croissance de la consommation de ressources finies. [2].

Comme on peut le voir sur la figure 3, à chaque point du processus, des déchets sont générés. Ces déchets peuvent être réincorporés à différents points du processus afin que ces déchets redeviennent une matière première.

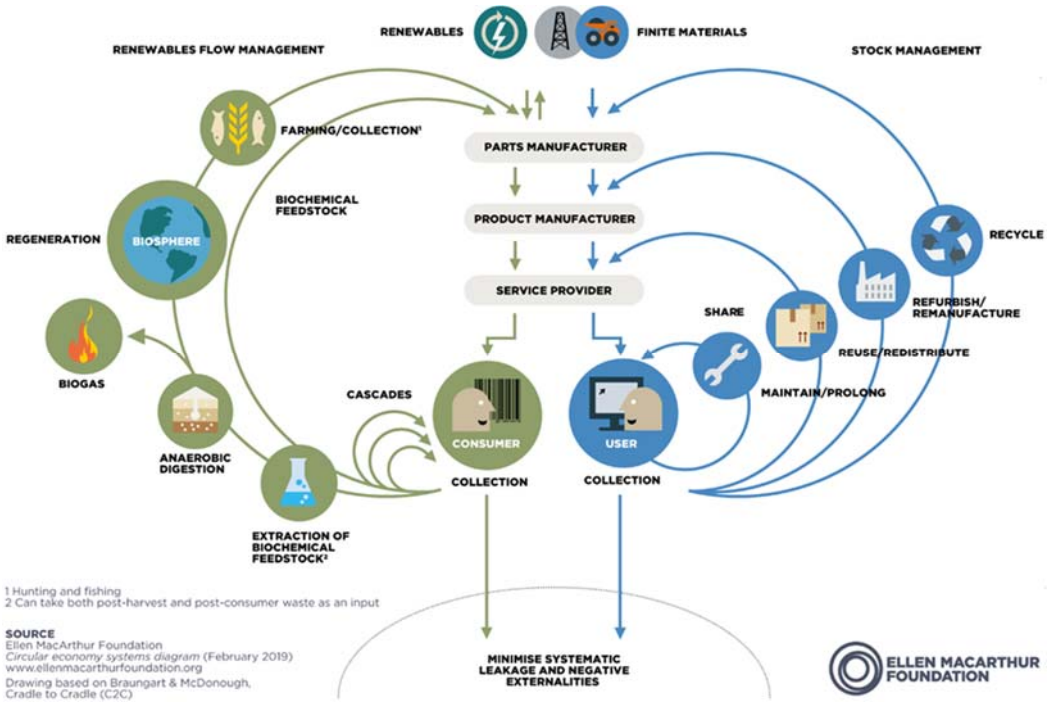


Figure 4. Graphique de l'économie circulaire. [1]

1.2. Qu'est-ce que l'éco-conception ?

Actuellement, la plupart des choses sont encore conçues pour le modèle linéaire. Cela signifie que presque tout doit être repensé conformément aux principes de l'économie circulaire. Le processus d'éco-conception ou de conception circulaire le fait et comprend quatre étapes:

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Comprendre - Apprendre à connaître l'utilisateur et le système.
- Définir - Mettre en mots le défi de conception.
- Faire – Itérer : idéation, conception et prototype.
- Release - Lancez votre design dans la nature.

La conception est un processus itératif qui ne se termine jamais. Vous devriez constamment tester et affiner à mesure que vous comprenez comment vos utilisateurs interagissent avec votre conception et comment elle s'intègre dans le système plus large. [6].

L'éco-conception est normalement effectuée avec une analyse du cycle de vie (ACV) du produit ou du procédé étudié.

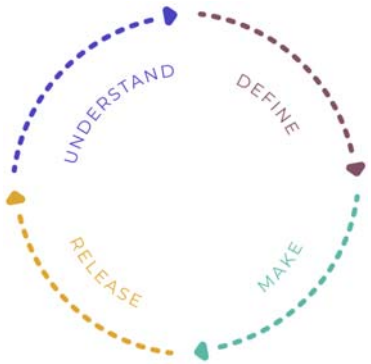


Figure 5. Organigramme de l'éco-conception [1].

2. Exemples de bonnes pratiques dans l'industrie

Afin de comprendre comment une entreprise développe ses propres stratégies pour mettre en œuvre les principes de l'économie circulaire, dans les paragraphes suivants, quelques exemples d'histoires réussies poussant vers la durabilité et l'économie circulaire sont détaillés. Ces initiatives s'appuient sur les efforts de coopération et d'innovation du cluster catalan sur les matériaux textiles avancés AEI Textiles [5].

2.1. Utilisation de matières premières durables

C.P. Aluart, S.L. crée des produits en tricot circulaire avec les matériaux les plus avancés pour répondre aux besoins des secteurs militaire, policier, des pompiers, des industries à risque et des sports de haute performance. Un exemple de ces matériaux est le PET recyclé, qui leur permet de produire des tissus de protection et des vêtements de bouteilles en plastique recyclées.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Manufacturas Arpe, S.L. sont des spécialistes de la conception, du tissage, de la découpe, de l'impression et de la fabrication de produits textiles personnalisés pour le secteur du marketing. Leur engagement envers l'environnement différencie leurs produits. Par exemple, ils adoptent l'éco-conception en utilisant des fils recyclés et une approche de vie multiple conséquente sur leurs produits.

Hilaturas Arnau, S.L. se spécialise dans le secteur du textile recyclé, fabriquant des tissus pour des marchés spécialisés à forte valeur ajoutée. Ils fabriquent des fils techniques circulaires recyclant les aramides, modacryliques, etc. et aussi des fils végétaliens écologiques avec des mélanges de différents matériaux naturels durables tels que le maïs, le chanvre, le bambou, le kapok, la ramie, etc.

Cintas y Pasamanería, S.A. (Cinpasa) respecte les principes de durabilité en promouvant l'utilisation de matériaux recyclables et l'utilisation de procédés de fabrication respectueux de l'environnement tant en interne qu'avec nos fournisseurs. Dans ces cas, l'utilisation de matériaux recyclés évite la consommation de matières premières fossiles vierges. En outre, il est important de savoir quels impacts environnementaux les matières premières que nous utilisons ont, afin de pouvoir les changer pour des matières plus durables, lorsque cela est possible.

2.2. Efficacité des procédés de traitement des eaux usées

Hidrocolor, S.L. offre des services techniques pour la teinture et la finition des tissus pour le bain, la mode, la serviette, les utilisations techniques, le sport et la maison, entre autres. Ces processus nécessitent une grande quantité d'eau, dans laquelle une partie des produits chimiques utilisés reste. Afin d'améliorer la durabilité des processus, l'entreprise améliore le traitement des eaux usées ainsi que l'efficacité des ressources dans la finition textile en raison de son engagement envers la société et l'environnement.

Finish, S.A. est dédié à la teinture et à la finition des tissus pour la décoration. Leur usine a mis en place un système qui leur permet de réutiliser les eaux usées pour réduire ainsi l'impact environnemental.

E.Cima, S.A.U. tricote, finit et teint différents produits tricotés tels que des tissus 3D, du nubuck en microfibre, du velours, du crochet et de la boucle, des doublures, des mailles, des filets, des velours, des polaires, etc. Afin d'effectuer des processus plus durables, ils utilisent des systèmes innovants de séchage et de durcissement à l'air et des finitions textiles sans eau.

L'examen des processus existants peut nous faire prendre conscience des améliorations qui peuvent leur être appliquées. La pollution de l'eau a toujours été associée au secteur textile. Malgré les réglementations concernant la qualité de l'eau libérée par les usines, les processus peuvent être améliorés en termes de durabilité et d'économie, en utilisant des processus de purification innovants, des produits chimiques plus durables, etc.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.3. Intégrer l'ensemble du processus de production dans la stratégie durable

FINSA-JOB GROUP fournir des solutions appropriées en filtration industrielle. Sa proposition pour réaliser des améliorations environnementales dans l'entreprise est de prolonger la durée de vie du produit en réduisant la consommation d'eau dans la production et l'utilisation.

Marina Tèxtil, S.L. concevoir, fabriquer et commercialiser des tissus techniques de protection utilisés pour produire des équipements de protection individuelle (EPI). L'entreprise adopte une production durable de tissus techniques haute performance pour la protection individuelle.

Technitiger, S.L. est une société d'ingénierie et d'exploitation ciblée dans la conception de tissus axés sur la protection contre les risques des personnes, en particulier les dangers des brûlures et des chocs thermiques importants. Maintenant, ils se concentrent sur la fermeture de la boucle sur les tissus de protection.

Antex sont impliqués dans des processus de recyclage post-industriels et post-consommation, ainsi que dans des processus et des technologies plus respectueux de l'environnement. Cela leur permet de réduire la consommation d'énergie et d'eau, et de réduire la pollution produite par les déchets non biodégradables.

L'amélioration des différentes phases tout au long de la vie du produit est un exemple clair d'éco-conception. Repenser et repenser divers aspects du produit le rend plus durable.

2.4. Nouvelle vie aux restes du processus

Etisilk, S.A. est une entreprise spécialisée dans la production de tissus d'extérieur. En tant qu'entreprise complètement intégrée verticalement, ils contrôlent et produisent tous les matériaux clés de la production de tissu, du fil au tissu fini. Cela leur permet de collecter leurs restes de tissu d'extérieur et de les recycler en produits tels que des tapis de jeu doux pour bébés.

La Industrial Algodonera, S.A. (LIASA) est un fabricant de cordons, de bandes élastiques, de rubans, de cordons techniques et de fils en polypropylène avec une large gamme de couleurs, d'applications et de finitions. L'entreprise a trouvé une solution à ses restes de fils synthétiques pour de nouveaux produits d'emballage durables dans un cas réussi de symbiose industrielle.

Toutes les entreprises sans processus éco-conçus génèrent des résidus qui finissent généralement dans les décharges. Il est intéressant de les analyser et de réfléchir à l'utilisation qu'ils peuvent avoir. De cette façon, ces résidus auront une nouvelle vie et la pollution générée par leur élimination sera évitée.

3. Exemples de bonnes pratiques à travers des projets

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les entreprises peuvent également être impliquées dans des projets qui les aident à adopter de nouveaux processus pour améliorer leur compétitivité en matière de durabilité. L'association de diverses entreprises, centres technologiques et / ou d'autres entités telles que des universités ou des centres de formation professionnelle est utile pour atteindre des objectifs communs et innovants qui peuvent être appliqués conformément aux objectifs du projet. Normalement, ces projets, une fois approuvés par l'organisme organisateur, accordent des subventions qui aident à atteindre l'objectif de celui-ci [4].

AEI Tèxtils, en tant que cluster, contribue à la promotion et à la facilitation de nouveaux développements vers la transition verte avec des projets spécifiques pour leurs associés. Dans les paragraphes suivants, il y a quelques exemples d'entre eux, qui peuvent être utilisés comme exemple d'une autre façon de mettre en œuvre des solutions d'économie circulaire à différents processus dans l'industrie de textile.

3.1. Promouvoir l'écoconception

ECODISTEX l'objectif était de promouvoir l'utilisation de critères environnementaux aux différentes étapes de la conception, de la production, de la distribution, de l'utilisation et du recyclage des produits finis dans le secteur des textiles techniques dans le but de réduire et d'atténuer l'impact environnemental tout au long du cycle de vie. Ce projet a été une excellente occasion de promouvoir l'éco-conception avec des études de cas pratiques avec nos membres.

Ses objectifs quantitatifs étaient les suivants :

- Réduire de 20% les déchets industriels générés par l'écoconception d'un produit textile.
- Réduire de 30% les émissions provenant du processus de réception des matières premières et de distribution du produit fabriqué.
- Réduire de 15% les coûts d'achat de matières premières vierges et les économies d'énergie.
- Réduire de 15 % les coûts de gestion des déchets.
- Réduire l'empreinte carbone du produit de 30 à 50% une fois écoconceptionné.

Ce projet a été cofinancé par le Departament de Territori Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya et l'Agència de Residus de Catalunya.

3.2. Écoconception avec un accent particulier sur les produits chimiques

Divers projets sont réalisés en soutenant la substitution de produits chimiques dangereux dans les processus de finition, mais en se concentrant sur différents produits.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Le projet FLAREX a été développé dans le but de réaliser une analyse de l'impact environnemental des meilleures technologies actuellement disponibles qui sont alternatives aux retardateurs de flamme toxiques (FR), utilisés dans les procédés de finition textile, en particulier ceux qui sont halogénés, et de démontrer quelles sont les meilleures alternatives: les moins toxiques et avec un impact environnemental plus faible, mais en même temps celles qui conserveront les propriétés requises du tissu. Ce projet a été développé par un consortium de 8 membres et financé par le programme LIFE.

L'objectif du projet MIDWOR était de réaliser une analyse de l'impact environnemental des meilleures technologies actuellement disponibles qui sont alternatives aux DWOR toxiques (répulsifs liquides), utilisés dans les procédés de finition textile, en particulier ceux qui sont fluorés, et de démontrer quelles sont les meilleures alternatives : les moins toxiques et avec un impact environnemental plus faible, mais en même temps celles qui conserveront les propriétés requises du tissu. Ce projet a été développé par un consortium de 8 membres et financé par le programme LIFE.

SUSTEX vise à fournir des outils et des connaissances à l'industrie textile catalane afin de promouvoir la substitution des produits chimiques dangereux utilisés dans les processus de finition pour permettre l'application de critères environnementaux dans la fabrication de ses produits. Cet objectif sera atteint grâce à une série d'activités, notamment une étude préliminaire de la situation actuelle en Catalogne, des entretiens avec des entreprises du secteur de la finition textile et avec des fournisseurs de produits chimiques. Ces activités préliminaires visent à établir une base de référence de la situation actuelle du marché et à déterminer la disponibilité de solutions de rechange potentielles qui seront utilisées dans la communication et les ateliers organisés pour le secteur. Un guide sectoriel promouvant la substitution de produits chimiques dangereux aux procédés de finition des textiles sera produit sur la base des enseignements des différentes activités et des projets précédents menés par AEI TÈXTILS. Le guide sectoriel facilitera à l'industrie textile catalane le processus de substitution.

Ce projet a été cofinancé par le Departament de Territori Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya et l'Agència de Residus de Catalunya.

3.3. Promouvoir l'économie circulaire

Le projet CIRCULARTECH vise à développer une analyse sectorielle des industries textiles techniques afin d'identifier les obstacles et les obstacles au sein du secteur et de concevoir des approches pour les surmonter. Le projet identifie également l'ensemble potentiel d'actions spécifiques au secteur textile technique pour promouvoir sa mise en œuvre dans les entreprises industrielles.

Plus précisément, les objectifs du projet sont les suivants :

- Obtenir des données sur la manière dont le secteur des textiles techniques applique des stratégies d'éco-conception pour adopter l'économie circulaire, afin de favoriser un changement de modèle.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Obtenir des informations sur les obstacles sectoriels à l'application de l'économie circulaire afin de fournir les ressources spécifiques.
- Avoir une vue d'ensemble des solutions promouvant l'économie circulaire, comme exemples pour évaluer la possibilité de réplication.
- Inclure des stratégies d'écoconceptions pour prévenir le gaspillage et minimiser l'utilisation de ressources non renouvelables dans le processus de fabrication des produits.

Ce projet a été cofinancé par le Departament de Territori Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya et l'Agència de Residus de Catalunya..

3.4. Symbiose industrielle

Le projet PACTEX vise à établir des synergies entre les entreprises de deux clusters (AEI Tèxtils et Packaging Cluster) de différents secteurs et à favoriser parmi eux l'utilisation efficace des ressources matérielles en réduisant les déchets industriels à la source, la réutilisation des produits, l'amélioration de la recyclabilité et la valorisation des déchets.

Pour son développement, dans un premier temps, une identification détaillée du type de ressources matérielles et de résidus générés par les entreprises des deux secteurs a été effectuée. Une fois ce diagnostic initial achevé, une série d'améliorations et de mesures innovantes (technologiques et/ou non technologiques) ont été proposées par les entreprises pour parvenir à une meilleure réutilisation des ressources matérielles et réduire la production de déchets industriels. Une évaluation technique, économique et environnementale de chacune des propositions et mesures proposées a également été effectuée. Le projet se termine par une sélection des mesures les plus appropriées, pour les tester et prouver qu'elles sont techniquement, économiquement et écologiquement viables.

Ce projet a été cofinancé par le Departament de Territori Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya et l'Agència de Residus de Catalunya.

3.5. Développement d'outils de formation

D'autres projets visent à développer des outils de formation utiles pour les entreprises et les étudiants sur l'économie circulaire ou d'autres nouvelles tendances appliquées au secteur.

CLEANTEX L'objectif est de promouvoir l'adoption de l'économie circulaire et des concepts d'écoconceptions afin d'améliorer les compétences des étudiants en génie textile et des travailleurs du secteur grâce à une coopération intersectorielle dans les établissements d'enseignement supérieur afin de s'attaquer au principal problème de pollution dans l'industrie textile et d'atteindre un secteur plus durable. CLEANTEX générera un impact sur les différents groupes cibles, y compris les étudiants

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

des établissements d'enseignement supérieur (design et textile), les entreprises textiles et leurs gestionnaires ainsi que d'autres parties prenantes de l'écosystème textile, qui bénéficieront des résultats générés pendant la durée de vie du projet. Le projet est développé par un consortium de 8 membres et financé par le partenariat stratégique Erasmus+.

DESTEX vise à promouvoir l'adoption de la culture de la créativité en tant que catalyseur pour libérer le potentiel d'innovation dans le secteur des matériaux textiles avancés. Afin de favoriser l'innovation dans ce secteur, les programmes d'enseignement supérieur doivent intégrer et renforcer la créativité et les aspects de conception dans les programmes d'ingénierie textile afin de libérer le potentiel d'innovation latente de l'industrie de la fabrication textile de pointe. Le projet a été développé par un consortium de 8 membres et financé par le partenariat stratégique Erasmus+.

L'objectif du projet TEXTRA était de promouvoir et de contribuer au transfert des connaissances en matière de recherche et d'innovation aux étudiants et stagiaires du secteur du textile / habillement via un apprentissage par projet. Le projet a été développé par un consortium de 10 membres et financé par le partenariat stratégique Erasmus+.

4. Conclusions

Ces dernières années, la durabilité est devenue une tendance majeure dans l'industrie textile. Les consommateurs sont mieux informés et attendent de plus en plus des produits écologiquement et socialement acceptables et donc des solutions durables dans l'industrie textile. Les fabricants s'engagent de plus en plus à exploiter le potentiel d'innovation et à promouvoir le développement durable.

De nos jours, l'économie circulaire est un moteur clé pour les industries textiles pour vendre leurs produits sur le marché international. Différentes voies peuvent être suivies par les entreprises afin de mettre en œuvre des concepts d'économie circulaire et d'éco-conception, car les stratégies de durabilité vont des conceptions durables et de l'utilisation de matériaux et de processus innovants à l'optimisation de la consommation des ressources et du recyclage. Dans cette leçon, quelques exemples de bonnes pratiques sont expliqués, où l'on peut voir que la mise en réseau facilitée par le cluster est essentielle dans les opportunités d'innovation émergentes pour prospérer le développement des affaires avec de nouveaux produits basés sur la durabilité et l'adoption de l'économie circulaire.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

References

[1] Ellen MacArthur Foundation. (2017). *The circular economy in detail*. Ellen MacArthur Foundation. [Online]. Disponible sur : https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail [Consulté : 06/09/2021].

[2] N. Šajn, *Environmental impact of the textile and clothing industry. What consumers need to know*. European Parliamentary Research Service. Pe 663.143. January 2019.

[3] European Parliament. (03/03/2021). *The impact of textile production and waste on the environment (infographic).* European Parliament News. [Online] Disponible sur : https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographic. [Consulté : 06/09/2021].

[4] European Union. *EU Fundings*. European Union, about the EU. Disponible sur : https://europa.eu/european-union/about-eu/funding-grants_en. [Accessed 06/09/2021].

[5] AEI Tèxtils. *AEI Tèxtils*. AEI Tèxtils.[Online]. Disponible sur : https://textils.cat/en/. [Consulté : 06/09/2021].

[6] F. Cluzel. *Eco-design implementation for complex industrial system: From scenariobased LCA to the definition of an eco-innovative R&D projects portfolio. Other*. Ecole Centrale Paris, 2012.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

1. **Question 1**: économie circulaire …

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) … est un moteur clé pour les entreprises textiles afin d'accroître leur compétitivité.

b) … est une mode d'une durée estimée à 3 ans.

c) … étudie comment les matières premières voyagent à travers le monde.

2. **Question 2** : qu'est-ce que l'éco-conception ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Un processus itératif qui se rapproche d'un produit ou d'un processus de l'économie circulaire.

b) Un processus qui se fait tous les 5 ans et ne vérifie que les matières premières utilisées.

c) Un éco-label pour certifier que vous n'utilisez que des fibres naturelles pour produire des tissus.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 2.4 Technologies à impact minimal et production respectueuse de l'environnement

Marianna Maglara Morneau
CEDECS-TCBL

1. Introduction

Les textiles sont l'un des flux de déchets les plus importants au monde et devraient continuer de croître en raison d'une consommation plus fréquente et d'une demande accrue de la “fast fashion”. À cela s'ajoute une consommation élevée de produits chimiques, d'énergie et d'eau, qui génèrent des impacts environnementaux significatifs à l'échelle mondiale.

1.1. L’impact de l’industrie du Textile & Habillement

Les principaux **effets environnementaux de l'industrie du textile & habillement** sont le rejet de quantités élevées de substances chimiques résultant de la consommation élevée d'eau et de produits chimiques nocifs utilisés dans ce **secteur et** de la pollution de l'eau associée, de la consommation d'énergie élevée dans les processus de **production** et des émissions atmosphériques associées.

La quantité de vêtements achetés dans l'UE par personne a augmenté de 40 % en à peine quelques décennies, sous l'effet de la baisse des prix et de la rapidité accrue avec laquelle la mode est livrée aux consommateurs. Les vêtements représentent entre 2 % et 10 % de l'impact environnemental de la consommation de l'UE. Cet impact se fait souvent sentir dans les pays tiers, car la majeure partie de la production a lieu à l'étranger. La production de matières premières, leur filage en fibres, le tissage des tissus et la teinture nécessitent d'énormes quantités d'eau et de produits chimiques, y compris des pesticides pour la culture de matières premières telles que le coton. L'utilisation par les consommateurs a également une empreinte environnementale importante en raison de l'eau, de l'énergie et des produits chimiques utilisés pour le lavage, le séchage en tambour et le repassage, ainsi que les microplastiques rejetés dans l'environnement.

Actuellement, de nombreux efforts tendent vers la mise en œuvre du recyclage de textiles, de nouveaux business modèles pour y parvenir, ainsi que des innovations liées aux matériaux et aux procédés, commencent à émerger.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'impact des technologies émergentes dans un contexte de durabilité des nanomatériaux et de l'intelligence artificielle dans la mode, les textiles et le design semble faire partie de la solution. À l'ère des nouvelles technologies Biotechnologie, nanotechnologie, intelligence artificielle, le monde découvre une nouvelle façon de travailler et ces technologies contribuent énormément dans divers domaines tels que les vêtements, les nouveaux matériaux et une toute nouvelle gamme de biomatériaux dans les textiles grâce à une structure de surface unique à haute résistance, tissus autonettoyants, capacité de teinture, tissus ignifuges, protection ultraviolet, antistatique, antibactérien, résistance aux salissures, résistance aux rides, anti-tâches, antimicrobien, ignifuge, hydrofuge, tissus balistiques durables, etc. Toutes ces technologies émergentes révolutionnent l'industrie textile, composante fondamentale de l'industrie de la mode et du design.

Après l'agriculture, l'industrie textile est le plus gros consommateur industriel d'eau. D'ici 2030, on estime que la demande mondiale d'eau douce augmentera de 40 pour cent avec l'augmentation de la population, et d'ici 2050, on estime que plus d'un milliard de personnes n'auront pas suffisamment d'eau pour vivre quotidiennement. Il faut jusqu'à 100 litres d'eau pour teindre un seul kilogramme de tissu de coton. La consommation quotidienne d'eau d'une usine textile de taille moyenne est d'environ 1,6 million de litres. La consommation spécifique d'eau pour la teinture varie de 30 à 50 litres par kg de tissu selon le type de colorant utilisé. La teinture dans la filière textile contribue à 15% - 20% du débit total des eaux usées.

Ces dernières années, les gouvernements, les ONG et les consommateurs ont exercé une pression accrue sur l'industrie textile pour qu'elle s'efforce de protéger l'environnement et d'adopter une approche plus proactive pour réduire l'empreinte environnementale de l'industrie L'industrie textile doit prendre ses responsabilités et adopter des pratiques commerciales durables pour minimiser l'impact environnemental.

Pour cette raison, pendant de nombreuses années, l'industrie textile a essayé d'identifier de nouvelles façons de réduire la consommation d'eau dans l'industrie, comme l'abaissement du taux d'alcool ou l'utilisation de colorants textiles qui nécessitent moins d'eau pendant le processus de teinture.

1.2. Impact environnemental négatif et cadre réglementaire

L'industrie textile est considérée comme l'un des plus gros consommateurs d'eau. La teinture textile conventionnelle utilise de grandes quantités d'eau douce et qui est ensuite éliminée comme des eaux usées contenant des colorants chimiques. En moyenne, environ 100 à 150 litres d'eau sont nécessaires pour traiter 1 kg de matière textile. L'eau est utilisée comme solvant dans de nombreux processus de prétraitement et de finition, tels que le lavage, le décapage, le blanchiment, la teinture, le rinçage et la finition. L'eau contaminée doit ensuite être manipulée et traitée avant d'être éliminée ou recyclée. La rareté de l'eau et la sensibilisation accrue à l'environnement sont des préoccupations mondiales

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

entraînant une forte hausse des prix de la prise et de l'évacuation de l'eau. Pour réduire ces processus de l'eau, de nouvelles technologies ont été introduites par les scientifiques. Ces technologies utilisent au moins 95 % moins d'eau et 80 à 90 % moins d'énergie que les procédés de teinture de tissus conventionnels.

1.2.1 Impacts environnementaux négatifs

Une quantité importante de produits chimiques est utilisée tout au long des étapes de fabrication des textiles, de la production de fibres aux processus de traitement, de teinture et de finition, représentant souvent 5 à 15 % du poids d'un vêtement. Des produits chimiques peuvent être utilisés pour donner de la couleur et conférer une fonction aux textiles. Pour convertir les matières premières en textiles, il a été indiqué que 8 000 produits chimiques différents sont utilisés. Divers produits chimiques ont été identifiés comme toxiques pour la santé humaine et produisent une multitude d'effets négatifs sur l'environnement, notamment la pollution de l'eau. Le bénéfice économique pour l'industrie de l'élimination des effets nocifs sur la santé d'une mauvaise gestion des produits chimiques est estimé à 8 milliards USD par an d'ici 2030. La prise de conscience et l'inquiétude accrues concernant les effets de l'utilisation des produits chimiques dans l'industrie ont suscité des efforts généralisés pour créer et mettre en œuvre des pratiques de gestion des produits chimiques, les systèmes d'identification, les normes, les politiques et les réglementations juridiques. Il y a également eu des efforts considérables vers de nouvelles chimies et procédés sûrs et durables, ainsi que vers l'innovation autour de produits chimiques nouveaux ou alternatifs.

1.2.2. Le règlement REACH et l'ECHA (Agence européenne des produits chimiques)

L'attention portée sur la dangerosité des substances chimiques et de leurs processus industriels a été renforcée en Europe par l'application, en 2007, du règlement REACH de l'Union européenne pour l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation des substances chimiques et les restrictions applicables à ces substances (règlement CE n °1907/2006), qui définit le degré de sécurité ou de dangerosité des substances utilisées. Le règlement a pour objectifs d'assurer un niveau plus élevé de protection de la santé humaine et de l'environnement, et d'améliorer la connaissance des dangers et des risques découlant de l'utilisation de produits chimiques. Environ 30 000 substances et produits chimiques sont soumis à une analyse pour déterminer leur dangerosité et sont inclus dans une base de données partagée par tous les États membres de l'Union européenne ; il établit des pratiques de gestion communes ou, si nécessaire, interdit leur utilisation. Les producteurs de colorants, de produits auxiliaires et d'additifs, ainsi que leurs utilisateurs, doivent documenter l'utilisation des substances et composés chimiques au moyen de registres techniques garantissant la traçabilité dans les processus. La charge de la preuve concernant la sécurité des substances incombe aux entreprises qui doivent identifier et gérer les risques associés aux substances qu'elles produisent et vendent, et démontrer à

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

l'ECHA (Agence européenne des produits chimiques) comment elles gèrent les risques et informer les utilisateurs de la gestion des risques et des mesures adoptées. Si ces risques ne sont pas gérables, les autorités ont la faculté d'imposer divers types de limitations à l'utilisation des substances et, à long terme, les substances les plus dangereuses doivent être remplacées par des substances moins dangereuses. Les substances définies dans la réglementation comme étant « extrêmement préoccupantes » sont incluses dans une liste spécifique (Annexe XIV de REACH) ; elles ne peuvent être mises sur le marché, pour des usages spécifiques et contrôlés, qu'après une demande des entreprises et uniquement avec l'autorisation de la Commission européenne. Le règlement REACH est composé de 141 articles et 17 annexes techniques.

L'ECHA, avec des bureaux à Helsinki, en Finlande, joue le rôle de coordination technico-scientifique de toutes les activités prévues par le règlement REACH et organise la base de données pour la collecte et la gestion des données fournies par l'enregistrement des substances, également dans le but de garantir l'accès du public aux informations sur les substances chimiques.

2. Technologies a impact minimal pour la teinture et l'impression

La filature de matières premières en textile, leur tissage en tissus et l'application de techniques de finition telles que la teinture ou le renforcement et la brillance des tissus sont des processus énergivores dans lesquels de grandes quantités d'eau et de produits chimiques sont utilisées. Plus de 1900 produits chimiques sont utilisés dans la production de vêtements, dont 165 classés par l'UE comme dangereux pour la santé ou l'environnement.

L'industrie de la teinture et de la finition des textiles est l'un des plus grands utilisateurs d'eau. Elle utilise une énorme quantité d'eau dans toutes les opérations de traitement. De nombreux colorants, produits chimiques, auxiliaires, etc. sont appliqués aux matières textiles dans les bains de coloration. Les problèmes écologiques sont généralement liés à la contamination de l'eau dans l'industrie de la teinture et de la finition des textiles. Les eaux usées de l'industrie textile sont chaudes, dégagent une forte odeur et sont colorées par des colorants, qui sont utilisés dans le cadre du processus de teinture et / ou d'impression. Les méthodes de production respectueuses de l'environnement et propres envisagent toutes les possibilités qui minimiseront les effets du problème de pollution dans le traitement humide des textiles et permettront d'économiser de l'eau et / ou de l'énergie.

2.1. Teinture

La teinture textile conventionnelle consomme beaucoup d'eau et génère de l'eau très polluée qui doit être soumise à des processus de traitement coûteux avant d'être rejetée dans les rivières et les océans.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Une grande quantité d'eau douce est utilisée pour le processus de teinture et de finition. Une nouvelle technologie de teinture à l'échelle industrielle pour la teinture des tissus synthétiques, DyeOx, a été mise en œuvre à Taïwan en utilisant du dioxyde de carbone (C02) au lieu de l'eau dans le processus de teinture. La technologie innovante n'utilise pas d'eau, pas de produits chimiques auxiliaires et une énergie réduite par rapport aux processus conventionnels. Selon le rapport Pulse of the Fashion Industry 2017, la teinture peut nécessiter jusqu'à 150 litres d'eau par kilogramme de tissu et, dans les pays en développement, où la majeure partie de la production a lieu et où la législation environnementale n'est pas aussi stricte que dans l'UE, les eaux usées sont souvent rejetées non filtrées dans les cours d'eau. La production de vêtements consomme une quantité importante d'énergie pour les équipements de couture, de collage, de soudage et de thermo-soudure. Les nouvelles technologies contribuent à éliminer la consommation d'eau et d'énergie et à réguler la pollution chimique. Cependant, il est important de prendre en compte les colorants synthétiques et naturels afin de maximiser l'efficacité et d'éviter les rejets chimiques.

2.1.1. Procédé de teinture à sec

Le processus implique l'utilisation de moins d'énergie que les processus conventionnels, ce qui se traduit par un potentiel de réduction des coûts d'exploitation jusqu'à 50 %.

L'élimination du procédé à l'eau et des produits chimiques est une innovation réelle et significative pour l'industrie de la teinture textile. Ce nouveau procédé utilise du dioxyde de carbone (CO2) fluide supercritique pour la teinture des matières textiles. La révolution est que ce processus est un processus de teinture complètement sans eau utilisant uniquement des quantités nominales de CO2 recyclé. Les tissus teints à sec avec ce procédé unique sans eau auront la même qualité de teinture que les tissus teints de manière conventionnelle actuels.

Le processus est une étape innovante et respectueuse de l'environnement pour produire des tissus et des vêtements de qualité pour des marques haut de gamme sur le marché du sport et de la lingerie. En innovant et en mettant en œuvre ce nouveau procédé de teinture sans eau, les entreprises peuvent éliminer leur utilisation annuelle de millions de litres d'eau douce dans la teinture des tissus.

Le CO2 - est une ressource inépuisable et son utilisation ne libère pas de composés organiques volatiles (COV). Il faut noter qu'il est biodégradable comme un nutriment pour les plantes. Il peut être récupéré et réutilisé du processus de teinture. Il est ininflammable et non corrosif. Il est non toxique et à faible coût.

Avantages majeurs

- Élimination de la consommation d’eau

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Élimination des rejets d'eaux usées
- Élimination des effluents de séchage à sec
- Réduction de la consommation d'énergie
- Réduction des émissions atmosphériques
- Réduction des substances chimiques
- Temps de teinture considérablement réduit
- Le colorant inutilisé peut être récupéré et réutilisé
- Environ 95 % du CO2 peut être recyclé
- Nécessité de moins de re-colorants Moins

Les fluides supercritiques sont des gaz hautement comprimés qui ont des propriétés uniques de liquide et de gaz et, de ce fait, présentent des avantages pour le traitement des textiles.

Le CO2 supercritique peut agir à la fois comme solvant et comme soluté, idéal pour le processus de teinture textile dans lequel des colorants dispersés (sans additifs, agents dispersants, etc.) sont utilisés. Les fluides supercritiques ont des coefficients de diffusion plus élevés et des viscosités plus faibles que les liquides, ainsi qu'une absence de tension superficielle, permettant une meilleure pénétration dans les matériaux.

Les trois états de la matière les plus connus produits dans des conditions de température et de pression précises sont le gaz, le liquide et le solide. Dans l'état solide les molécules sont fortement liées les unes aux autres et ne disposent que de très peu de liberté de mouvement (disposition compacte).

Lorsqu'une force d'une intensité suffisamment élevée est appliquée au solide, l'état solide passe à l'état liquide. Ajoutez-en plus et cela devient un gaz. Lorsque la température et la pression deviennent suffisamment élevées, les phases liquide et gazeuse deviennent indiscernables, et la phase est appelée un fluide supercritique.

Avantages pour l'industrie textile

- En utilisant du CO2 fluide supercritique, le polyester et d'autres synthétiques peuvent être teints avec des colorants dispersés modifiés.
- Le fluide supercritique CO2 fait gonfler la fibre polymère, ce qui permet au colorant dispersé de se diffuser facilement dans le polymère, pénétrant dans les pores et la structure capillaire des fibres.
- La viscosité de la solution de colorant est plus faible, ce qui rend la circulation des solutions de colorant plus facile et moins gourmande en énergie. Cette pénétration profonde assure une coloration efficace des polymères qui sont caractéristiquement hydrophobes. La teinture et l'élimination de l'excès de colorant sont des processus effectués dans le même récipient.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Le colorant résiduel est minime et peut être extrait et recyclé. La teinture au CO2 supercritique donne d'excellents résultats en ce qui concerne le nivellement du colorant et le développement de la teinte, et les propriétés physiques des fils teints sont équivalentes aux méthodes conventionnelles.

Acteurs clés du secteur

Les grandes entreprises sont essentielles pour changer le paysage de l'industrie de la teinture et certaines grandes marques ont fait des progrès technologiques (qui bien sûr sont les seules à pouvoir se le permettre).

NIKE a conclu un partenariat stratégique avec Dye Coo Textile Systems B.V. qui fabrique des machines pour la teinture textile sans eau. En utilisant du dioxyde de carbone recyclé, la technologie de Dye Coo élimine l'utilisation d'eau dans le processus de teinture des textiles. NIKE, Inc. considère cela comme une étape importante vers son engagement à long terme pour garantir un business durable et un environnement plus propre.

Les grandes entreprises comme IKEA et Adidas peuvent se permettre d'utiliser ces technologies.

2.1.2. Procédé de teinture à l'air

Élimination de l'eau lors de l'application de la couleur

Le processus de teinture à l'air utilise de l'air à la place de l'eau pour aider les colorants à pénétrer dans les fibres, un processus qui n'utilise pas d'eau et nécessite moins d'énergie que les méthodes de teinture traditionnelles ; la technologie ne fonctionne que sur des matériaux synthétiques et n'est actuellement disponible qu'aux États-Unis.

La technologie de teinture à l'air (Air Dye) gère l'application de la couleur aux textiles sans utiliser d'eau. Cette technologie a été développée et brevetée par Colorep, une société de technologie durable basée en Californie. Selon le tissu et le type de teinture, Air Dye utilise jusqu'à 95 % d'eau en moins et jusqu'à 86 % d'énergie en moins, contribuant ainsi 84 % en moins au réchauffement climatique, selon une évaluation indépendante demandée par l'entreprise. Les tissus teints à l'air n'abîment pas les couleurs ou ne se décolorent pas aussi facilement que les tissus teints à la cuve, car le colorant se trouve à l'intérieur des fibres.

- Avantages
- Ne pollue pas l'eau lors du processus d'application de la couleur (pas de déchets dangereux dans l'eau)
- Réduit les besoins énergétiques, abaissant ainsi les coûts et satisfaisant aux normes les plus strictes de responsabilité mondiale.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- -N'utilise pas de chaudières, de machines de sérigraphie, de fours de séchage ou d'étape de nettoyage et simplifie le processus, créant des possibilités révolutionnaires de nouvelle industrie et d'emploi dans des régions du monde arides et non cultivées.
- Donne aux consommateurs un moyen de choisir le style et la durabilité à un prix réaliste au point d'achat.
- Selon le tissu et le type de teinture, Air Dye utilise jusqu'à 95 % moins d'eau et jusqu'à 86 % moins d'énergie, contribuant 84 % en moins au réchauffement climatique, selon une évaluation indépendante.
- De plus, certaines entreprises affirment qu'avec la technologie Air Dye, elles peuvent imprimer à la commande, ce qui élimine l'excès de production et le gaspillage.

Acteurs clés du secteur

Colorep affirme que son procédé Air Dye est proposé à un prix compétitif par rapport à la technologie traditionnelle. De plus, Colorep affirme que les entreprises utilisant cette technologie trouvent que le processus Air Dye réduit les déchets car 10 % du tissu traditionnel teint en cuve est endommagé pendant le processus, alors qu'avec Air Dye, seulement 1 % est endommagé.

Tableau 1 présentation du réseau TCBL

Titre	Intervenant	Organisation	Lien
Guide de l'analyse de rentabilisation de la production écologique	Guide	TCBL Network	https://issuu.com/tcbl/docs/eco-friendly_production_business_case
L'analyse de rentabilisation de la production écologique	Paolo Guarnieri Prato	TCBL Network	https://youtu.be/OGtRxoOn5m8
De la menace pour les marques à l'opportunité pour les laboratoires et les fabricants	Besnik Mehmeti	TCBL Network	https://zine.tcbl.eu/detox-from-threat-for-brands-to-opportunity-for-labs-and-manufacturers/
Colorants naturels	Stefano Panconesi Clementina Casa	TCBL Network	https://youtu.be/NQvf5wz8XaY
Produits chimiques plus sûrs dans la mode	Marco Ricchetti Sustainability Lab	TCBL Network	https://youtu.be/tBgwQ-JxbM4

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Apprêts et finissage anti-salissage des textiles	Silvia Pavlidou	TCBL Network	https://zine.tcbl.eu/soiling-and-soil-release-finishing-of-textiles/

2.2. Impression numérique

L'impression est l'une des étapes importantes de la production pour la gestion de la durabilité dans l'utilisation de produits chimiques dans les processus de production textile. L'utilisation des technologies numériques permet, par rapport à l'impression traditionnelle, une réduction des quantités de colorants et d'encres utilisées. Les marques respectent soit la réglementation soit celle du RSL / M-RSL volontaire fixée par les marques.

Depuis son entrée sur le marché, au début de l'année 2000, l'impression numérique a représenté une véritable innovation technologique dans le secteur du textile et habillement, anticipant les modes de connexion des différentes technologies.

Il est recommandé aux imprimeurs d'utiliser uniquement la quantité d'encre strictement nécessaire. Des recherches ont également été menées sur des systèmes de réduction des polluants dans les déchets grâce à l'utilisation de biomasses et des techniques pour séparer l'urée et la récupérer pour une utilisation dans les processus de production ultérieurs.

Avantages majeurs

Utilisation écologique et efficace des ressources naturelles
Fixation très élevée, avec une faible décharge de colorant non fixé
Faible consommation d'eau et d'énergie par rapport aux bains de teinture traditionnels
Cohérence de la qualité du produit
Une quantité constante de colorant est déposée
Ne repose pas sur le prélèvement de colorant du bain de teinture
Différentes couleurs possibles de chaque côté du textile

2.2.1. Avantages pour l'industrie du T&H : efficacité, sécurité chimique, innovation

Le premier élément qui se démarque lorsqu'on regarde une imprimante numérique est l'avantage considérable donné par la possibilité de produire ce qui est nécessaire dans les quantités nécessaires et avec les variables requises, sans déchets, ni lots stockés dans les entrepôts qui attendant un acheteur.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les économies en termes de temps d'impression sont certainement une variable importante. Si le processus de préparation des cylindres et des plaques d'impression peut prendre jusqu'à 2 semaines, le temps nécessaire à l'impression jet d'encre est réduit à quelques heures.

Le temps nécessaire pour réinitialiser la machine pour changer le tissu ou la conception est beaucoup plus court. La vitesse du processus d'impression lui-même peut atteindre des niveaux élevés de productivité propres en quelques heures.

Une machine utilisant des plaques d'impression peut mesurer jusqu'à 40 mètres de long, tandis qu'une imprimante numérique occupe en moyenne 40/50 mètres carrés ; elle peut être installée dans un espace beaucoup plus petit et puisque la disposition de l'usine détermine ses coûts énergétiques, cela lui permet d'obtenir le meilleur résultat tout en réduisant les surfaces utilisées rend toute la production plus durable d'un point de vue écologique et économique. Même le nettoyage de la courroie de l'imprimante dans une machine numérique (aujourd'hui d'environ 4 mètres) par rapport à celui d'une imprimante rotative ou plate nécessite de plus petits volumes d'eau et d'énergie. Les imprimantes numériques permettent une économie de 40 à 75 % par rapport à l'impression traditionnelle, en fonction du type d'équipement et de la complexité de la conception.

2.2.2. Réduction de l'impact environnemental des substances utilisées pour l'impression

Sécurité chimique : substance UREA (urée)

L'urée est une substance chimique utilisée pour favoriser la fixation des colorants (réactifs mais aussi acides, pas dans le cas des encres dispersées) sur les fibres. Dans la phase de fixation à la vapeur des encres, l'urée permet l'absorption de l'humidité, contribuant ainsi à la fixation de la couleur sur le tissu. Dans l'impression traditionnelle, l'urée est mélangée à la pâte d'impression tandis que dans l'impression numérique, elle est utilisée dans la préparation du tissu, souvent en plus grandes quantités que ce qui est réellement nécessaire pour le dessin réel à imprimer. À la fin du processus d'impression, de l'urée peut être présente dans l'eau utilisée pour laver le produit, avec des niveaux de contamination à l'azote tels, qu'ils nécessitent des processus de purification. L'utilisation de l'urée dans les procédés d'impression (numériques et traditionnels) représente un problème écologique.

Acteurs clés du secteur - Success Stories

Intech Digital a introduit une nouvelle technologie d'impression textile « sans eau » utilisant des encres textiles pigmentées réactives **Blackjet** (encre nano pigmentaire) pour fournir une coloration. **Les encres textiles Blackjet** utilisent un pigment insoluble dans le support d'encre, plutôt qu'un colorant, et contiennent des liants résineux qui aident les particules de pigment à adhérer au tissu. Cette technologie utilise un **processus en quatre étapes** consistant en : 1. un prétraitement du tissu, 2. une

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

impression numérique avec des encres pigmentées réactives, 3. un chauffage du tissu pour fixer le pigment sur le tissu, 4. un processus de post-traitement.

Les encres textiles numériques **DuPont Artistri** sont fabriquées avec des pigments et des colorants similaires à ceux utilisés dans l'impression textile conventionnelle pour fournir des résultats de haut niveau dans l'impression numérique.

3. Autres solutions pour une production écologique

L'industrie de la finition textile confère aux tissus et aux vêtements leur aspect et leurs propriétés finales. Elle utilise des procédés traditionnels qui ne sont pas respectueux de l'environnement (consommation de produits chimiques, d'eau et d'énergie).

Des processus tels que le désencollage, le blanchiment, le lavage (systèmes rouleau à rouleau sur les tissus) et la fictionnalisation (fixation) ou la teinture de revêtement par immersion (appliquée par lots sur les vêtements) sont actuellement développés par des systèmes d'application par voie humide et des produits chimiques qui nécessitent d'énormes quantités d'eau et le traitement des eaux usées. L'utilisation de produits chimiques alternatifs comme l'ozone pour le traitement des tissus de manière continue et l'utilisation de la technologie des nano bulles pour la finition des vêtements permet de réduire la consommation de produits chimiques - également la consommation d'eau.##

3.1. Technologies plasma pour une finition écologique

Les méthodes de production respectueuses de l'environnement et propres envisagent toutes les possibilités qui minimiseront les effets du problème de pollution dans le traitement humide des textiles et permettront d'économiser de l'eau et / ou de l'énergie.

3.1.1. Traitement au plasma

Traitement au plasma : C'est une méthode écologique pour la finition et la modification des tissus. Le processus utilise des plasmas, des gaz soumis à un fort champ électrique composés d'ions et d'électrons libres, pour interagir avec les surfaces de polymères et changer radicalement la nature de ces surfaces. L'utilisation de plasma à haute énergie permet de créer un système de traitement de tissu non aqueux en continu, englobant le désencollage, le décapage, la teinture et surtout la finition. C'est une technologie basse pression. Les traitements au plasma ont été utilisés pour induire à la fois des modifications de surface et des améliorations des propriétés en vrac des matériaux textiles, entraînant des améliorations des produits textiles allant des tissus conventionnels aux composites avancés.

Ces traitements peuvent améliorer les taux de teinture des polymères, améliorer la solidité des couleurs et la résistance au lavage des tissus et modifier l'énergie de surface des fibres et des tissus.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La recherche a montré que des améliorations de la ténacité, et de la résistance au rétrécissement peuvent être obtenues en soumettant diverses fibres thermoplastiques à une atmosphère de plasma.

Le pouvoir hydrofuge du tissu denim est augmenté en utilisant à la fois des plasmas sous vide et à pression atmosphérique. Ce dispositif permet la caractérisation diagnostique du plasma pendant le traitement, la variation de traitement contrôlée tout au long d'un rouleau de tissu et le traitement continu du tissu.

Le traitement au plasma ne peut être effectué que sous pression atmosphérique ou sous vide. Bien que les procédés sous vide aient été bien caractérisés, ils n'ont pas été acceptés par l'industrie textile en raison de leur incompatibilité avec le traitement continu. L'interaction entre les plasmas à pression atmosphérique et les substrats textiles fait toujours l'objet d'investigations.

Différents matériaux textiles peuvent être traités, y compris les tissus tissés, les non-tissés et les fils de filaments dans le plasma à pression atmosphérique. Les échantillons de nylon n'ont montré aucune modification de surface significative, mais le même protocole de traitement a considérablement modifié la chimie de surface et la morphologie du polypropylène.

Avantages majeurs

- Faible consommation d'eau
- Efficacité énergétique
- Technologie basse pression (sous vide)

3.1.2. Technologie à l'ozone

Les systèmes de traitement à l'ozone ne génèrent aucun déchet car l'ozone est reconverti en air normal (oxygène) une fois le processus terminé, mais cela prend quelques minutes, tout comme le chargement et le déchargement des vêtements.

G2 est la technologie textile ozone la plus récente et la plus éco-efficace, le résultat de 15 ans d'innovation constante dans l'industrie de la finition des vêtements. Ce système de recyclage mécanique ne consomme pas d'eau et ne produit pas de déchets chimiques. Développé par Novetex Textiles Limited, le système breveté est presque entièrement automatisé, réduisant ainsi les coûts de main-d'œuvre élevés associés au recyclage des textiles.

Dans l'industrie **textile**, **l'ozone** est utilisé dans divers procédés tels que : les applications sur le **denim**, les prétraitements du coton, la teinture et la finition, la teinture et le nettoyage du polyester, le traitement de divers textiles ...

Avantages majeurs

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- La technologie à l'Ozone apporte un effet de blanchiment d'apparence naturelle.
- Faible coût, la technologie à l'Ozone permet aux blanchisseries d'atteindre des prix très compétitifs dans l'industrie du denim.
- Économie d'énergie en ne chauffant pas l'eau
- Économie d'eau
- Économie de main-d'oeuvre
- Réduction de l'utilisation de produits chimiques
- Blanchiment sans eau

3.1.3. Technologie micro nano Bulle (MNB)

Cette technologie peut traiter les vêtements bruts et appliquer différents produits chimiques, en les transférant en utilisant des micro-nano bulles (MNB) comme véhicule des produits chimiques, qui peuvent pénétrer directement à l'intérieur des fibres. Les technologies actuelles pour la finition des vêtements sont basées sur la distribution des produits chimiques dans un bain à l'intérieur de machines à laver industrielles. L'aspect innovant de l'utilisation de cette nouvelle technologie est que ces produits entrent en contact avec les vêtements avec une quantité minimale d'eau, étant transportés vers les fibres à travers des micro-nano bulles au moyen d'un flux d'air humide.

Avantages : économies significatives d'énergie, d'eau et élimination des processus toxiques

Les deux technologies promeuvent une nouvelle vision de l'industrie textile :

La technologie de l'ozone utilise uniquement de l'énergie électrique et de l'air pour la finition des tissus. Ses premières applications ont été les machines à laver écologiques de vêtements qui utilisent l'ozone pour adoucir ou réduire la couleur des vêtements produisant un effet « soleil ». Des économies significatives d'énergie, d'eau et l'élimination des processus toxiques associés au blanchiment ont été constatées. Les principaux avantages des nouveaux traitements à l'ozone roll-to-roll pour les tissus sont: des effets vintage, des aspects décolorés, un crocking amélioré, du blanchiment, du nettoyage, un aspect délavé sur le denim et l'altération de la couleur.

La technologie micro nano bulle peut traiter les vêtements bruts et appliquer différents produits chimiques, en les transférant en utilisant des micro-nano bulles (MNB) comme véhicule des produits chimiques, qui peuvent pénétrer directement à l'intérieur des fibres. Les technologies actuelles pour la finition des vêtements sont basées sur la distribution des produits chimiques dans un bain à l'intérieur de machines à laver industrielles. L'aspect innovant de l'utilisation de cette nouvelle technologie est que ces produits entrent en contact avec les vêtements avec une quantité minimale d'eau, étant transportés vers les fibres à travers des micro-nano bulles au moyen d'un flux d'air humide. Cette technologie peut répondre à trois processus courants : les processus

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

de conditionnement (adoucissant), les processus de fixation et fonctionnalisation (propriétés spéciales /techniques), les processus de teintures d'échappement (teinture directement sur les vêtements).

Les principaux produits textiles à traiter avec ces technologies sont axés sur le denim et l'habillement, mais sans s'y limiter, car de nouveaux projets de R&D se sont concentrés sur la finition des textiles pour les applications domestiques, les vêtements de travail, l'automobile, les chaussures, les produits à base de cuir, le secteur médical / santé, etc. et pourraient être lancés par des entreprises textiles de l'UE, pour développer de nouveaux matériaux et procédés textiles.

Tableau 2 Articles et Présentations du réseau TCBL

Titre	Intervenant	Organisation	Lien
Impression textile numérique	Alexandru Mitocaru	Printer Zone	https://youtu.be/SvMX91-WGoM
Lasers & Plasma	Bill Macbeth	TCoE	https://youtu.be/zCODY7asNWY
Méthodologies et outils pour la gestion des produits chimiques	Besnik Mehmeti	TCBL Network	https://zine.tcbl.eu/methodologies-and-tools-for-chemicals-management/
Finition textile durable grâce à l'utilisation des technologies de l'ozone et des nanobulles	Besnik Mehmeti	TCBL Network	https://zine.tcbl.eu/sustainable-textile-finishing-using-ozone-and-nanobubble-technologies/
Méthode de chimie durable pour améliorer le processus de lavage des colorants réactifs sur le coton	Besnik Mehmeti	TCBL Network	https://zine.tcbl.eu/sustainable-chemistry-method-to-improve-the-wash-off-process-of-reactive-dyes-on-cotton/
Purification biologique de l'air d'échappement dans la finition textile	Besnik Mehmeti	TCBL Network	https://zine.tcbl.eu/biological-exhaust-air-purification-in-textile-finishing/

3.2. Utilisation de fibres à base bio

La production de matières premières est responsable d'une grande partie de l'impact environnemental de l'industrie du textile et de l'habillement, notamment de la culture des fibres naturelles.

Les fibres naturelles sont des fibres textiles d'origine végétale, animale (protéine) ou minérale. Les cellulosiques / fibres synthétiques ou artificielles sont également classées comme fibres naturelles.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Différence majeure par rapport aux fibres synthétiques qui sont des fibres textiles artificielles produites à partir de substances chimiques (pétrole, charbon).

Outre les matériaux traditionnels comme le cuir, le coton et la laine, nous avons les nouveaux produits biologiques qui ouvrent de nouvelles possibilités dans l'industrie textile.

3.2.1. Fibres naturelles versus durables – les matériaux « préférés »

Le coton qui, selon le plan d'action européen pour l'habillement (ECAP) de 2015, représente plus de 43 % de toutes les fibres utilisées pour les vêtements sur le marché de l'UE, est considéré comme particulièrement problématique car il nécessite d'énormes quantités de terres, d'eau, d'engrais et de pesticides. Les impacts environnementaux du coton biologique peuvent être considérablement réduits par rapport au coton conventionnel, car il utilise moins d'eau et pollue moins.

Avec une part de marché de 25 pour cent en 2019 (c'est-à-dire la saison 2018/19 de l'ICAC), le marché du coton durable (*« préféré »)* est plus avancé que celui de la plupart des autres matériaux « préférés ». Les principaux moteurs sont l'existence de plusieurs programmes de coton *« préféré »* bien établis, et le fait que le coton, en tant que matériau de grand volume, est sur le radar de la durabilité de l'industrie depuis de nombreuses années. Pourtant, il est urgent d'augmenter encore la part du coton et de l'améliorer continuellement en termes de durabilité. Les programmes de production de "*coton préféré*" incluent: ABRAPA, BASF e3, Better Cotton Initiative (BCI), Cleaner Cotton, Cotton made in Africa (CmiA), Fairtrade, Fairtrade Organic, Field to Market, In-Conversion Cotton (Transitional aux USA), ISCC, myBMP, Organic, REEL Cotton, Regenerative Cotton et le United States Cotton Trust Protocol. Selon un rapport de Textile Exchange, la part du coton durable est passée de 6 % en 2012-2013 à 19 % en 2016 -2017. Selon le rapport *« Pulse of the Fashion Industry 2017 »,* les fibres naturelles ont le plus fort impact environnemental, la soie ayant un effet particulièrement néfaste en matière d'épuisement des ressources naturelles et de réchauffement climatique, le coton contribuant excessivement à la pénurie d'eau et la laine aux émissions de gaz à effet de serre (GES).

Le cuir

Jusqu'à récemment, les risques liés à la transformation du cuir (tannage, utilisation de produits chimiques) étaient au centre des préoccupations, mais il y a un intérêt croissant pour le bien-être animal, la déforestation, l'utilisation des terres (et la perte de biodiversité associée) et les problèmes de changement climatique. Textile Exchange a développé le Leather Impact Accelerator (LIA) pour accélérer les actions positives tout au long de la chaîne de valeur bœuf /cuir et la prise de conscience des problèmes liés au bien-être animal a conduit à une croissance réussie de l'utilisation de normes, telles que la norme Responsible Down Standard (RDS). Bien qu'il soit difficile d'influencer les pratiques

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

des fermes, l'utilisation des normes de matériaux préférés aide à réduire les risques le long de la chaîne d'approvisionnement**.**

La laine

La laine conventionnelle domine le marché de la laine, mais l'adoption de programmes de laine sans mulesing et préféré, tels que la norme Responsible Wool Standard, est en augmentation. La transition vers des programmes de laine avec à la fois des critères de bien-être animal et d'utilisation responsable des terres en place offre le potentiel de créer des impacts positifs en termes de bien-être animal, d'utilisation des terres et de biodiversité. L'utilisation de laine recyclée peut être un autre levier clé. Bien qu'il ait une longue tradition, la part de marché est encore faible, mais les potentiels d'impact sont très élevés.

L'industrie teste également des fibres naturelles moins fréquemment utilisées, telles que le chanvre, le lin, et l'ortie, qui nécessitent moins d'eau, d'engrais et de pesticides.

Le polyester, fabriqué à partir de combustibles fossiles et non biodégradable, représentait 16 % des fibres utilisées dans les vêtements selon le plan d'action européen pour l'habillement ECAP. Ses principaux avantages sont, contrairement au coton, une consommation d'eau plus faible, un lavage à des températures plus basses et un séchage rapide ; il n'a guère besoin d'être repassé, et il peut être recyclé en (nouvelles) fibres vierges.

Le rapport sur le marché des fibres et matériaux préférés 2020 révèle que la production mondiale de fibres a doublé au cours des 20 dernières années, atteignant un niveau record de 111 millions de tonnes métriques en 2019 et les résultats pré-COVID-19 indiquaient une croissance potentielle à 146 millions de tonnes métriques d'ici 2030. Le marché des fibres et des matériaux préférés (inclus dans le marché global des fibres et des matériaux) se développe mais pas à la vitesse et à l'échelle requises. Il est maintenant temps d'accélérer la transition vers les fibres et les matériaux préférés pour assurer la vie des personnes et de la planète. Textile Exchange vise à être le moteur d'une action climatique urgente avec un objectif de réduction de 35 à 45 % des émissions de CO_2 provenant de la production de fibres et de matériaux textiles d'ici 2030.

Le rapport sur le marché des fibres et matériaux préférés comprend les dernières tendances dans diverses catégories de fibres, y compris les fibres naturelles végétales, les fibres et matériaux d'origine animale, les fibres cellulosiques artificielles, les fibres synthétiques, ainsi que les normes de durabilité, les initiatives et en général les tendances.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

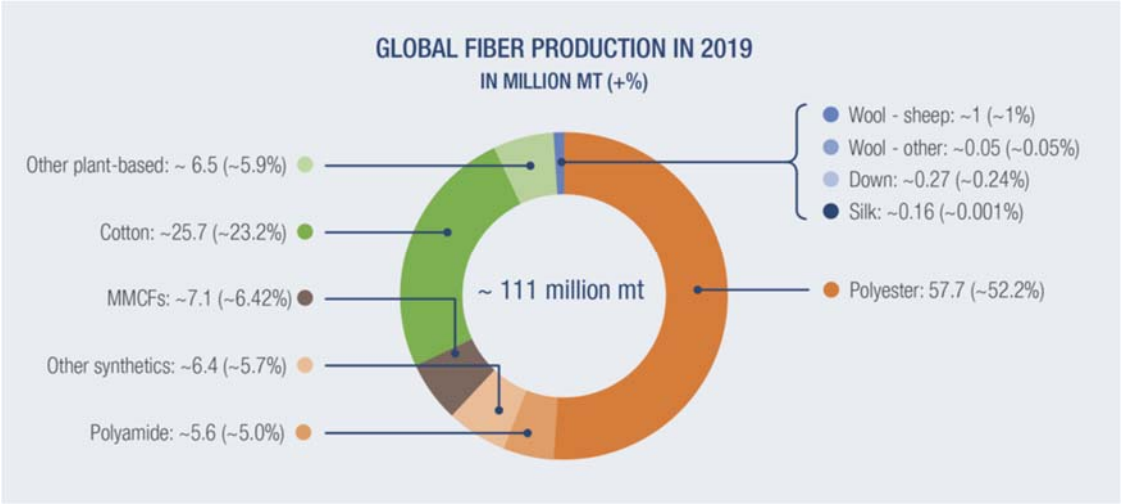


Figure 1. Production Global de Fibre en 2019

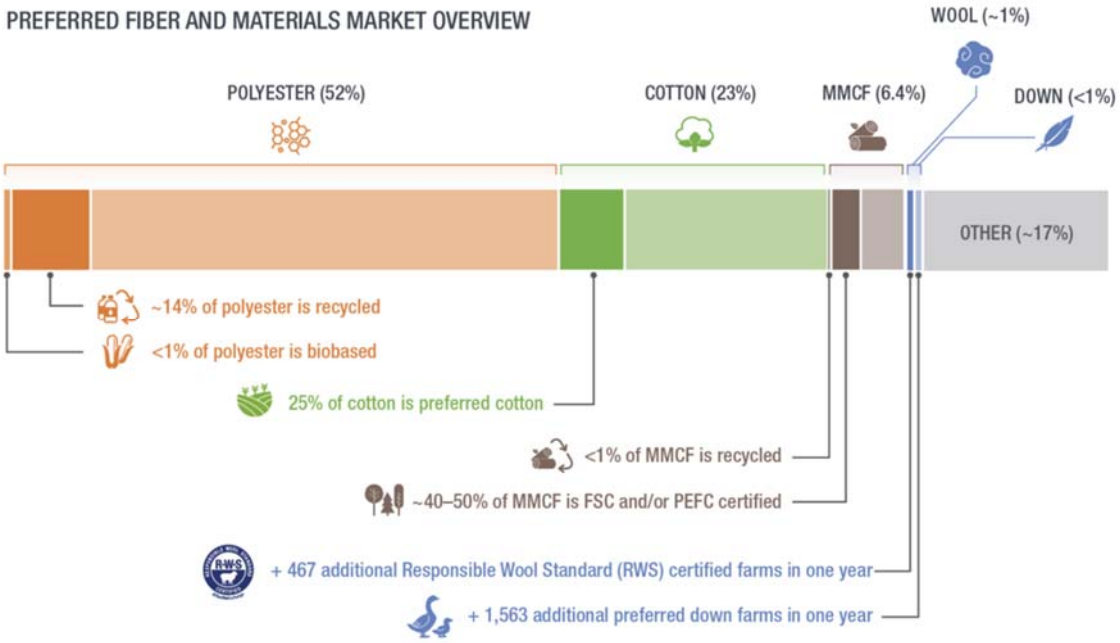


Figure 2. Aperçu du marché des matériaux fibreux préférés

3.2.2. Autres matériaux pour une production respectueuse de l'environnement

La biotechnologie moderne est un outil idéal qui réduit la consommation d'énergie et de matériaux et minimise la production de déchets et d'émissions. La biotechnologie industrielle utilise des micro-organismes et des catalyseurs biologiques (enzymes) pour produire des produits et des processus

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

industriels propres qui apporteront de grands avantages à l'industrie au cours de la prochaine décennie.

Textiles intelligents

Ce segment de textiles innovants est multidisciplinaire et nécessite des connaissances spécialisées dans de nombreux domaines. Les textiles intelligents sont ceux qui intègrent des microsystèmes qui aident à mesurer et à observer des paramètres vitaux tels que la pression artérielle, le pouls ou la respiration. Ces textiles sont utilisés pour les uniformes des pilotes automobiles et des agents aux pompes à essence, et pour les pompiers, entre autres.

Polyester recyclé

Le polyester recyclé, fabriqué principalement à partir de bouteilles en plastique, a augmenté sa part de marché de 8 % en 2007 à 14 % en 2017. Cependant, plusieurs études ont récemment montré qu'une charge de linge de vêtements en polyester (également en nylon et en acrylique) peut décharger 700 000 fibres microplastiques, qui libèrent des toxines dans l'environnement et peuvent se retrouver dans la chaîne alimentaire humaine. Les estimations montrent que chaque année, environ un demi-million de tonnes de microfibres plastiques provenant du lavage des vêtements se retrouvent dans l'océan.

L'industrie expérimente actuellement du polyester biosourcé (également connu sous le nom de biosynthétique), fabriqué au moins en partie à partir de ressources renouvelables telles que les amidons et les lipides de maïs, de canne à sucre, de betterave ou d'huiles végétales. Alors que le défi est de trouver des matières premières qui ne concurrencent pas la production alimentaire et qui ne nécessitent pas de grandes quantités d'eau et de pesticides. Alors que la part du polyester recyclé augmente et atteint 14 % en 2019, elle n'évolue pas encore à la vitesse et à l'échelle requises. Les bas prix du polyester d'origine fossile créent un environnement de marché difficile pour le polyester recyclé et biosourcé. En tant que fibre avec la plus grande part de marché, l'échelle d'impact du polyester est énorme. Bien que l'utilisation de bouteilles en plastique comme matière première soit un bon début - et la plupart du polyester recyclé est actuellement à base de bouteilles en plastique - nous devons évoluer vers le recyclage textile à partir d'autres textiles et améliorer de toute urgence les conditions sociales dans la collecte et le recyclage des déchets.

Soie d'araignée

La soie d'araignée de type dragline (produite en continu) est un matériau merveilleux qui a été conçu pour être cinq fois plus résistant que l'acier, deux fois plus élastique que le nylon, imperméable, extensible et présente le comportement inhabituel que la contrainte requise pour provoquer une défaillance augmente pour une déformation croissante. Au départ, le gène d'araignée a été introduit dans des embryons de chèvre, puis implantés dans des mères porteuses, et ainsi les chevreaux sont

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

devenus les fondateurs d'une lignée porteuse de gènes d'araignées. Les chèvres transgéniques produisent, dans leur lait, la protéine de fil d'araignée (soie d'araignée). Des propriétés textiles avantageuses ont été transférées à des micro-organismes qui sont multipliés par des procédés de fermentation en masse. De même, l'ADN d'araignée est transféré dans des bactéries pour fabriquer des protéines avec une résistance et une résilience accrues de la soie d'araignée.

Soie colorée naturelle

Dans le monde entier, des tentatives ont été faites pour produire de la soie colorée naturelle en modifiant les gènes des vers à soie. L'Institut de technologie de Kyoto, au Japon, s'est attribué le mérite de produire de la soie verte fluorescente par altération génétique du ver à soie. Les caroténoïdes, les carotènes et les xanthophylles dérivés des feuilles de mûrier ont été utilisés pour colorer les cocons et apparaissent dans la séricine qui recouvre la fibroïne du filament de soie. Cependant, en fonction de la perméabilité des pigments sur les différentes parties du cocon, de la constitution génétique des glandes à soie, et des différences de pigment des fibres selon la couleur du cocon, des variations de couleur semblent se produire.

DuPontTM "Sorona"

Une autre fibre écologique importante est DuPontTM « Sorona » à base de maïs. Le partenariat de scientifiques de DuPont et de Genencor a abouti au développement de l'organisme qui utiliserait le glucose de l'amidon de maïs pour produire du PDO (polyester obtenu par polymérisation du propane). Des propriétés telles qu'un séchage rapide, une résistance permanente aux taches, une élasticité comparable au nylon et une douceur égale au polyester le rendent approprié pour les textiles techniques automobiles, y compris les tapis, les nattes et les tissus. Il offre des tissus avec de bonnes caractéristiques de performance.

"Biopol"

Le biopolymère synthétique « Biopol », actuellement produit, est formé par la fermentation de sucres par la bactérie Alcaligenes eutrophus. Ces bactéries se développent dans des réservoirs contenant une source de nourriture à base de carbone. Le polymère produit est séparé et purifié.

Fibres cellulosiques artificielles

Les technologies dominantes des technologies de culture cellulaire sont la croissance in vitro de cellules isolées d'organismes multicellulaires. L'ingénierie tissulaire est une technique de culture plus avancée dans laquelle des cellules animales ou humaines spécifiques sont amenées à se développer et à former des tissus entiers qui peuvent être implantés dans le corps humain. La cellulosique artificielle (MMC), dérivée de la cellulose fabriquée à partir de pâte de bois dissoute d'arbres, représente environ

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

9 % des fibres utilisées dans les vêtements sur le marché de l'UE. Le plus utilisé est la viscose, également connue sous le nom de rayonne. Ils sont fabriqués à partir de plantes renouvelables et sont biodégradables, mais le principal défi est également l'approvisionnement durable en cellulose, la production mondiale de MMC ayant plus que doublé de 1990 à 2017. L'industrie travaille donc avec des matériaux innovants plus durables, tels que comme le lyocell (également connu sous le nom de marque de Tencel, obtenu à partir de cellulose d'eucalyptus, qui pousse rapidement et ne nécessite ni irrigation ni pesticide), bemberg (également connu sous le nom de cupro, issue du linter de coton qui ne peut pas être utilisé pour filer du fil), et Piñatex (à base de feuilles d'ananas).

Malgré une part de marché élevée du Forest Stewardship Council (FSC) et du Programme de reconnaissance des fibres cellulosiques artificielles (MMCF) et par le Programme de reconnaissance des certifications forestières (PEFC), qui est estimée à environ 40-50 pour cent, le risque de s'approvisionner en MMCF dans des forêts anciennes ou menacées reste élevé. Canopy estime qu'environ la moitié de tous les MMCF proviennent de forêts anciennes et menacées. La part de marché des « MMCF recyclés » est estimée à moins de 1 %, mais de nombreux travaux de recherche et développement sont en cours et devraient donc augmenter considérablement dans les années à venir. Avec l'introduction de nouvelles normes pour le niveau de pâte et de fibre, l'action à ce niveau est également susceptible d'augmenter.

Polyamide

En raison de défis techniques et d'une moindre attention en raison de volumes plus faibles, la part de marché du polyamide préféré est encore faible par rapport au polyester. En tant que deuxième fibre synthétique la plus utilisée, le polyamide offre des potentiels d'impact significatifs en passant au polyamide recyclé et biosourcé. La plupart du polyamide recyclé est actuellement fabriqué à partir de déchets pré-consommation, certains également à partir de filets de pêche jetés. Il est nécessaire d'augmenter l'utilisation des textiles post-consommation.

Tableau 3 Articles et présentations du réseau TCBL

Titre	Intervenant	Organisation	Lien
Tissus d'algues	Tjeerd Veenhoven	TCBL Network	https://vimeo.com/191618026
Rapport sur le marché des fibres et	Report	TCBL Network	https://textileexchange.org/2020-preferred-fiber-and-materials-market-report-pfmr-released/

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

matériaux préférés			
Modèles avec fibres reconstituées	Anita de Wit	TCBL Network	https://vimeo.com/191618025

4. Conclusion

L'industrie textile, l'une des industries les plus dépendantes de l'eau, est également l'épine dorsale de nombreuses économies en développement. L'intégration de nouvelles technologies telles que la technologie de teinture sans eau, l'impression numérique, etc. peuvent aider à économiser l'eau et aider les usines à rester compétitives tout en réduisant leur dépendance à l'eau et en contribuant à améliorer l'environnement. Les avantages de ces techniques ou procédés sont particulièrement importants étant donné que l'approvisionnement en eau se fait de plus en plus rare, en particulier dans les régions productrices de textiles de Chine, d'Inde et d'autres régions d'Asie. Cependant, il existe encore des défis concernant le coût des équipements, l'entretien des équipements et la teinture des fibres naturelles.

Un produit n'est durable que lorsque tous les paramètres d'entrée et de sortie des matériaux et des processus sont inoffensifs pour les êtres vivants et l'environnement à toutes les étapes du cycle de vie du produit. La durabilité dans le domaine des textiles peut être atteinte par l'utilisation de la biotechnologie car toutes les techniques et processus sont biologiquement sûrs et naturels. De nouvelles fibres biosourcées émergent et offrent de nouvelles possibilités dans l'industrie textile.

Toutes les technologies émergentes continuent de révolutionner l'industrie textile, qui est une composante de base de l'industrie de la mode et du design. À l'heure actuelle, en effet, une nouvelle ère dans toutes ces industries va insuffler un progrès et un développement durables.

La biotechnologie industrielle permettrait de résoudre de nombreux problèmes rencontrés par l'industrie textile. De nombreux outils et techniques novateurs peuvent aider l'industrie, tels que l'amélioration des performances des matières premières telles que les fibres textiles, la laine et la soie, la création de nouveaux matériaux à partir de ressources naturelles renouvelables, l'aide au traitement des tissus avec des enzymes, des colorants biologiques et une amélioration des méthodes qui permettraient d'économiser de l'eau, des carburants et des ressources pour une utilisation future. Les enzymes dans le traitement économiseraient du temps, de l'énergie, des matières premières, de l'eau et des coûts et rendraient l'ensemble du processus viable, durable et respectueux de l'environnement.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cependant, même si toutes ces innovations sont très prometteuses et respectueuses de l'environnement, il reste des barrières à surmonter. L'industrie textile étant une industrie manufacturière sous pression, il y a une concurrence continue pour les prix des vêtements. Les technologies innovantes mises en évidence nécessitent beaucoup d'optimisation en termes de production à faible coût et de viabilité commerciale tout en répondant aux demandes des clients. En raison de la hausse des coûts des matières premières, les fabricants trouvent assez difficile de produire un vêtement fini de manière durable sans augmenter les prix au-delà de ce que les consommateurs sont prêts à payer. Il sera aussi au consommateur de pendre conscience et accompagner par ses choix la transformation durable de l'industrie du textile.

Références

[1] Global Fashion Agenda & The Boston Consulting Group, The Pulse of the Fashion Industry, 2017. [Online]. Disponible sur : https://www.globalfashionagenda.com/publications-and-policy/pulse-of-the-industry/ [Consulté le : Juin. 14, 2021].

[2] S. Gray, European Clothing Action Plan, Mapping clothing impacts in Europe: The environmental cost, 2017. [Online]. Disponible sur : http://www.ecap.eu.com/wp-content/uploads/2018/07/Mapping-clothing-impacts-in-Europe.pdf [Consulté le : Juin. 14, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

1. **Question 1** : Le processus de teinture classique utilisé par l'industrie du T&H exige…

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Beaucoup d'énergie et d'eau

b) Moins d'eau et moins d'énergie

c) Moins de produits chimiques

2. **Question 2** : Quelles fibres sont considérées comme les plus durables ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Les textiles biosourcés

b) Les textiles traditionnels comme la laine, le cuir, le coton

c) Les fibres synthétiques comme le polyester, le polyamide, le nylon

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 2.5 Pratiques écologiques pour la production de jeans

Marianna MAGLARA MORNEAU
CEDECS-TCBL

1. Introduction

Une bonne paire de jeans est un élément clé d'une garde-robe moderne, à la fois tendance et durable. Une grande quantité de gaz à effet de serre est libérée par les processus de fabrication du denim et son impact sur l'environnement ne se produit pas, comme ce vêtement toujours à la mode. Cela justifie d'étudier quels processus de production et modèles économiques alternatifs peuvent rendre leur production plus respectueuse de l'environnement.

1.1. Les origines d'une success story

L'utilisation contemporaine du mot "jeans" vient du mot français pour Gênes, Italie (Gênes), où un tissu connu sous le nom de jean apparaît dans les livres d'histoire dès le XVe siècle. Ce textile, était à l'origine un mélange de laine et de coton (contrairement à la soie utilisée dans le denim d'origine).

Les jeans contemporains sont associés au "Denim", un tissu dont le nom vient du nom de sa ville d'origine, Nîmes en France. Alors qu'un prédécesseur du denim connu sous le nom de salopette a été produit en Inde pendant des centaines d'années, le denim tel qu'il est reconnu aujourd'hui a en effet été produit pour la première fois à Nîmes, en France, à la fin du XVIIe siècle, lorsque la ville était un quartier textile. Le denim original était un tissu à armure sergé, composé d'un mélange de laine et de soie, qui étaient alors des matières produites localement. Plus tard, le coton a remplacé la laine et la soie comme matériaux utilisés pour la production de Denim.

La légendaire version américaine du jean (le jean Levi's) a été inventée en Californie en 1873. Ce jean en denim était à l'origine fabriqué à partir de denim ou de salopette, un type de tissu tissé en sergé 3/1 en pur coton avec des fils de chaîne teints à l'indigo et une trame non teinte. Cela signifiait que le côté face était dominé par des chaînes teintes à l'indigo, avec un dessous de trames non teintes. Cet effet, lorsqu'il est combiné avec différentes techniques de lavage, a contribué à créer l'aspect usé distinctif. Le denim était traditionnellement coloré en bleu avec une teinture indigo pour faire des jeans bleus, bien que "jean" désignât autrefois un tissu de coton différent, plus léger.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

1.2. Préoccupations environnementales et des consommateurs

Un article publié en 2006 [1] proposait « Une évaluation de l'impact de la consommation mondiale de produits cotonniers sur les ressources en eau dans les pays producteurs de coton », faisait grand cas de l'empreinte eau de la consommation de coton. Les données fournies par cet article ont été utilisées pour calculer l'impact spécifique de certains produits clés fabriqués avec du coton, dont le jean.

En partant de l'hypothèse que le denim est composé à 100 % de coton, il a été calculé qu'environ 800 gr de coton sont nécessaires pour produire une paire de jeans et il a été estimé que l'empreinte hydrique d'une paire de jeans pourrait atteindre 8 000 litres d'eau. Cela invitait beaucoup d'acteurs de la filière à faire un effort particulier sur ce type de produit pour réduire son impact écologique et notamment son impact hydrique.

L'un des premiers gestes a été depuis lors d'essayer de substituer le coton utilisé pour la fabrication du denim par des fibres nécessitant moins d'eau pour leur fabrication. Certes, le coton confère au denim sa douceur, sa capacité d'absorption, sa respirabilité, sa durabilité, sa facilité d'entretien, sa polyvalence et son prix abordable. Cependant, de nombreuses tentatives sont actuellement faites pour obtenir un denim aux propriétés similaires en utilisant des fibres alternatives comme le chanvre.

Cette tendance à la production respectueuse de l'environnement s'est renforcée depuis lors, car de plus en plus de consommateurs recherchent de plus en plus la durabilité dans leurs choix vestimentaires. Malheureusement, l'article vestimentaire préféré du monde, le jean denim, est aussi celui qui a traditionnellement eu des impacts négatifs majeurs sur l'environnement.

Aujourd'hui la production de jeans fait l'objet d'une attention particulière quant à ses impacts négatifs non seulement en termes d'empreinte eau mais aussi en termes d'énergie, de produits chimiques toxiques ou encore de responsabilité sociale comme l'illustre récemment un récent documentaire diffusé par la BBC en 2021 [2]

1.3. Réponses du fabricant

Les fabricants de vêtements et les détaillants ont cherché des moyens de réduire l'impact de la production de jeans, en commençant par des efforts pour réduire la part de coton utilisée, car cela leur permettait également d'éviter d'être liés à un marché unique du coton susceptible de fortes fluctuations de prix. Les fabricants ont donc commencé à mélanger d'autres fibres synthétiques pour donner des caractéristiques différentes et réduire les coûts - le polyester dans les années 1980, puis le Spandex pour l'élasticité, le Tencel pour le soyeux et la délicatesse et le T400 pour l'élasticité. Les fabricants ont également commencé à incorporer d'autres fibres naturelles - le lin et la laine. Plus

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

récemment, de nombreuses initiatives plus radicales ont été prises. L'importance de la production de jeans dans l'industrie du vêtement justifie ces efforts

En Europe, la production de textiles est une partie importante de l'industrie manufacturière, jouant un rôle crucial dans l'économie et le bien-être dans de nombreuses régions. En 2017, la production textile totale de l'UE était de 3 millions de tonnes; la production de fibres en représente 27 %, la production de fils 36 % et les tissus 37 % (Eurostat, 2019). Les fibres naturelles et synthétiques sont à la fois produites et transformées par l'industrie textile européenne. En 2018, l'industrie du textile et de l'habillement de l'UE comptait environ 171 000 entreprises, employant environ 1,7 million de personnes et générant un chiffre d'affaires de 178 milliards d'euros (Euratex, 2019) - le secteur est principalement composé de petites entreprises de moins de 50 salariés comme le souligne dans l'événement Business Beyond Borders de 2017 [3].

Les principaux impacts environnementaux des produits textiles proviennent de la partie production textile du cycle de vie, dont les impacts les plus importants sont liés à l'utilisation et aux émissions de produits chimiques toxiques, ainsi qu'à l'utilisation de l'eau et de l'énergie (avec les émissions de gaz à effet de serre associées conduisant au changement climatique) (Allwood et al., 2006 [4] ; Commission européenne, 2017 [5]).

Le jean, une tendance mondiale, vend environ 6 milliards de paires dans le monde chaque année. Il est prévu que les ventes de jeans dépasseront 65 milliards de dollars d'ici 2015. Malgré un tel scénario florissant dans le secteur du denim, les entreprises de denim subissent des pressions pour modifier les méthodes de fabrication des jeans afin de s'attaquer aux problèmes environnementaux.

Avec des chiffres de ventes aussi effarants, il est évident que les processus de fabrication des jeans ont un impact majeur sur la santé des travailleurs et sur la planète. C'est un fait connu que les travailleurs sont à risque de tuberculose ou de silicose pendant le processus de sablage pour donner ce look « usé » parfait. Dans le même temps, les méthodes de production fortement toxiques émettent des gaz nocifs qui ont un impact sur l'environnement.

1.4. Problèmes écologiques dans les matériaux et les traitements utilisés pour produire des jeans

La culture du coton est l'un des processus les plus problématiques de la chaîne de production textile. La culture conventionnelle du coton est à la fois gourmande en eau et en produits chimiques, et de nombreuses initiatives sont prises par l'industrie textile pour améliorer cette situation, notamment la Better Cotton Initiative (BCI, 2013) et le Global Organic Textile Standard (GOTS). La culture du coton occupe moins de 2,5 % des terres arables mondiales mais utilise 11 % des produits chimiques agricoles mondiaux, principalement des engrais, des insecticides et des herbicides.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Un autre problème critique dans **la chaîne d'approvisionnement** textile est l'utilisation de l'eau pour l'irrigation des champs de coton; la production de coton demande environ 10 000 litres d'eau par kg de coton et la 3 culture est souvent située dans des zones pauvres en eau. La campagne d'irrigation à grande échelle des années 1960 visant à obtenir l'indépendance de la production de coton en Asie centrale soviétique a provoqué la désertification de la mer d'Aral, avec des conséquences environnementales désastreuses.

Le traitement humide (blanchiment, teinture, finition) est une autre source tristement célèbre de l'impact environnemental des textiles (Commission européenne, 2017 [5] ; Hasanbeigi et Price, 2015 [6]). Il est à la fois consommateur d'énergie, d'eau et de produits chimiques. Pour produire 1 kg de vêtement aujourd'hui, on estime qu'il faut entre 1,5 et 6,9 kg de produits chimiques, ce qui signifie que le poids des produits chimiques utilisés dans le processus de production est supérieur au poids du vêtement fini lui-même (Olsson et al. , 2009). Tous les produits chimiques textiles ne sont pas toxiques, mais certains le sont, et les émissions de produits chimiques toxiques provenant de la production textile ont été mises en évidence par plusieurs organisations non gouvernementales (ONG) ces dernières années. Un exemple est la campagne Greenpeace Detox, qui a conduit à l'initiative Zero Discharge of Hazardous Chemicals (ZDHC) de l'industrie textile. Selon le contexte local, le transport des consommateurs vers et depuis le magasin, les processus de blanchisserie et la gestion des déchets peuvent également contribuer considérablement à l'impact environnemental des textiles. Les conditions sociales de la production textile ont également commencé à recevoir beaucoup d'attention au cours de la dernière décennie.

Les consommateurs étant de plus en plus préoccupés par l'impact de ce qu'ils achètent sur l'environnement, les entreprises de denim sont confrontées à des pressions pour s'attaquer aux problèmes environnementaux, car les jeans sont l'un des vêtements les moins écologiques à produire en raison de l'eau et des pesticides utilisés pour faire pousser le coton, mais aussi en raison de l'empreinte supplémentaire de la fabrication (1 500 litres d'eau pour fabriquer une seule paire de jeans, consommation d'énergie importante dans les usines, produits chimiques toxiques dans la teinture et la finition).

2. Des approches et solutions traditionnelles à des solutions plus respectueuses de l'environnement

2.1. L'impact négatif des approches traditionnelles - conventionnelles

Les fabricants ont également modifié la construction du tissu du denim, en utilisant souvent ce que l'on appelle le denim tricoté. Il est plus extensible et plus confortable mais conserve la couleur indigo

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

et l'effet vieilli. Ceci est souvent utilisé dans les vêtements pour femmes et enfants pour plus de flexibilité et une coupe ajustée.

La popularité et la variété des jeans, y compris les différentes couleurs, ont eu un impact majeur sur l'environnement. Par exemple, la décoloration nécessite souvent un lavage à la pierre ponce avec des produits chimiques agressifs qui décomposent simultanément ou ultérieurement les colorants indigo, et l'aspect vieilli peut nécessiter jusqu'à 20 lavages intensifs en produits chimiques.

Les déchets de ces méthodes sont souvent simplement déversés dans les rivières. Les résidus chimiques, les métaux lourds (manganèse, cadmium, chrome, mercure, plomb et cuivre), les agents blanchissants et oxydants puissants, la poussière de pigment bleu, les fines particules de pierre ponce et les fibres détruites sont donc un problème majeur pour l'environnement local.

Les pratiques de travail ne sont souvent pas non plus conçues pour protéger les employés. L'environnement toxique entourant la production de denim est connu pour causer plusieurs problèmes de santé, notamment des maladies respiratoires, une perte auditive, un cancer de la peau et des lésions cérébrales.

Les autorités exigent désormais de meilleures pratiques de travail et les leaders de l'industrie réagissent. Des processus et des technologies de lavage innovants créent des solutions durables. Des machines à laver plus efficaces et des produits chimiques respectueux de l'environnement, tels que les enzymes, font partie des options actuellement explorées et mises en œuvre. L'objectif commun est une réduction de la consommation d'eau, de produits chimiques et d'énergie.

2.2. Les nouvelles démarches éco-responsables & durables

Certaines entreprises de denim ont mis au point de nouvelles techniques pour fabriquer des « jeans verts ». Le fabricant de denim en Suède s'est efforcé de recycler 1 600 tonnes de matériaux dans de nouveaux vêtements et a économisé 50 millions de litres d'eau lors de la fabrication de jeans. Une autre marque de denim fabrique des jeans entièrement à partir de coton et de bouteilles d'eau recyclées. Les déchets plastiques sont un gros problème mondial. Environ 66 milliards de bouteilles d'eau sont utilisées chaque année aux États-Unis seulement.

Chaque paire de ces jeans contient 8 à 10 bouteilles de déchets et des déchets de coton collectés dans les usines qui, autrement, sont jetés dans les décharges. Cela montre l'engagement de l'entreprise à protéger l'environnement tout en réussissant à gérer une entreprise rentable. Bien que cela ait l'air simple, beaucoup de recherche et de développement ont été consacrés à la fabrication de jeans à partir de bouteilles d'eau usagées, rendant ainsi le plastique à la mode.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

De nouveaux développements comme les jeans sans eau et la croissance de l'industrie du coton biologique ont contribué à maintenir l'approche de durabilité. Il faut faire des choix durables lors de l'achat de denims tels que le coton biologique, les teintures naturelles, les rivets et les boutons fabriqués à partir de matériaux naturels ou recyclés. Évitez les lavages qui nécessitent des produits chimiques agressifs comme les jeans délavés, délavés ou blanchis. Achetez toujours des styles classiques qui resteront à la mode.

Au cours des dernières années, les entreprises de denim ont proposé d'excellentes options de jeans verts aux consommateurs du monde entier. Certains fabriquent des jeans en coton 100% biologique, tandis que d'autres utilisent des teintures indigo naturelles et d'autres utilisent des boutons en bambou pour les jeans. Il existe des entreprises de denim qui non seulement fabriquent des jeans en coton biologique à la mode, mais donnent une partie de leurs bénéfices à des organisations caritatives.

2.3. Des solutions de production respectueuses de l'environnement

Les scientifiques ont signalé un nouveau procédé connu sous le nom de " **Denim avancé** " qui peut réduire considérablement les impacts négatifs. Ce **processus écologique** peut réduire de 92 % la consommation d'eau, 30 % de la consommation d'énergie et presque aucune eau usée tout en produisant une paire de jeans par rapport aux méthodes traditionnelles. De plus, le processus réduit également les déchets de coton de 87 %, qui sont normalement brûlés, ce qui ajoute à la génération de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

La production traditionnelle de denim nécessite environ 25 barils de teinture et une gamme de produits chimiques dangereux. Le procédé Advanced Denim ne nécessite qu'un seul baril et des colorants au soufre liquides concentrés et respectueux de l'environnement. Les étapes de production restantes sont supprimées. Selon les scientifiques, si 25% des denims produits dans le monde sont teints grâce à cette technologie, les besoins en eau de 1,7 million de personnes peuvent être satisfaits chaque année.

Cette technologie permettrait également d'éviter la production d'eaux usées de 8,3 millions de mètres cubes et d'économiser 220 millions de kilowattheures d'électricité. Simultanément, cela réduira la grande quantité de dioxyde de carbone rejetée dans l'atmosphère chaque année. Les meilleurs fabricants de denim du monde manifestent un grand intérêt pour l'adoption de la technologie Advanced Denim. Ce type de processus vert est un excellent exemple d'économie d'eau, d'énergie, de matériaux et de réduction de la pollution de l'environnement.

Voici quelques-unes des façons dont l'industrie du jean denim s'adapte à l'évolution des réglementations et à la demande croissante des consommateurs pour des produits plus durables :

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Le lavage à l'ozone gagne en popularité - exploitant les capacités de blanchiment naturelles du gaz ozone pour donner une gamme d'effets blanchis spéciaux tout en réduisant considérablement l'impact sur l'environnement. L'ozone a des capacités d'oxydation naturellement fortes, qui peuvent détruire les colorants indigo à la surface du tissu, créant un aspect blanchi. Le processus consiste à humidifier les jeans en denim, puis à les exposer à l'ozone. Il peut atteindre le niveau de blanchiment souhaité en 15 minutes environ. L'ozone se reconvertit ensuite en oxygène et est libéré en toute sécurité dans l'environnement. Des procédés à l'ozone sec sont également disponibles, éliminant le besoin d'eau de Javel et d'eau. Cela créera un denim durable.

Les fabricants utilisent également des **lasers infrarouges informatisés** pour créer une usure localisée, des moustaches, des motifs complexes et des conceptions personnalisées sans produits chimiques ni eau. Cette méthode offre précision, répétabilité et flexibilité.

Les produits chimiques utilisés changent également. Des formules chimiques de blanchiment plus respectueuses de l'environnement et des colorants alternatifs signifient moins d'impact sur l'environnement. Par exemple, les colorants au soufre liquides peuvent atteindre des taux de fixation beaucoup plus élevés, plus de 90 %, par rapport aux colorants indigo traditionnels, généralement inférieurs à 10 %, ce qui signifie une décharge de colorant beaucoup plus faible. Ils ont également d'excellentes propriétés de résistance au lavage et à l'humidité.

D'autres options incluent la **teinture et la finition en mousse**, qui réduisent considérablement le taux de ramassage humide (20 à 30 %), ce qui signifie moins de colorants et de produits chimiques. Les fabricants utilisent également des **bulles d'air de taille nanométrique** au lieu de l'eau pour teindre les jeans, leur donnant à la fois douceur et propriétés anti-froissage. Réduire l'eau signifie réduire les produits chimiques et l'énergie.

2.4. Un cas de fournisseur de technologie : jeanologia

Jeanologia [7], est une entreprise technologique espagnole avec vingt ans d'histoire qui aide la transformation de l'industrie textile avec des technologies perturbatrices (laser et systèmes écologiques) qui améliorent la productivité, réduisent la consommation d'eau et d'énergie et éliminent les émissions et les déchets nocifs, garantissant une contamination ZÉRO.

Aujourd'hui, Jeanologia est présent dans 60 pays et plus de 35% des 5 milliards de jeans produits dans le monde chaque année sont fabriqués avec les technologies Jeanologia et notamment les caractéristiques de base du tissu du denim telles que les effets de marbrure, de neppy ou de flamme sont obtenues de manière durable grâce à Jeanologia. laser. De plus, des tricots teints à l'indigo et de beaux designs sont obtenus grâce à l'utilisation des technologies Jeanologia Laser, Ozone et durables.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les solutions Jeanologia couvrent la plupart des étapes de production des jeans et utilisent les technologies laser et écologiques les plus avancées pour la finition des tissus et des vêtements, couvrant les besoins les plus pressants du marché. Jeanologia propose des technologies durables et efficaces qui garantissent de grandes économies d'eau, d'énergie et de produits chimiques et des technologies non polluantes et perturbatrices qui éliminent les processus manuels et nocifs pour la santé du travailleur.

Vous trouverez sur leur site web (https://www.jeanologia.com/products/) une description de leurs solutions :

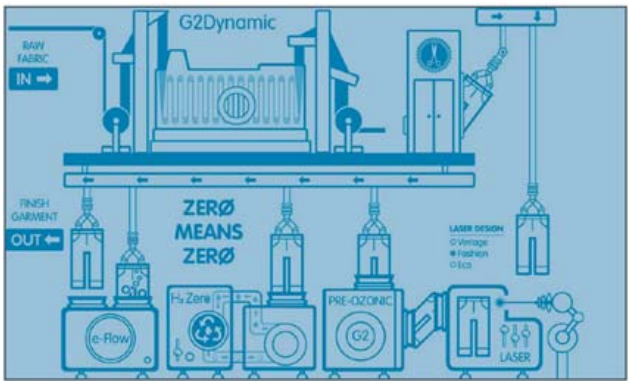


Figure 1. Solutions Jeanologic

3.3. Analyses de rentabilisation de la production de jeans verts

3.1. Une adaptation exemplaire d'une ancienne entreprise familiale : le jean d'Atelier Tuffery

Le cas de l'Atelier Tuffery illustre comment une petite entreprise traditionnelle impliquée dans la production de jeans peut surmonter l'impact négatif que la production de jeans peut avoir aux yeux des clients en projetant une image attrayante, responsable, durable et humaine d'une part et en fournissant une information transparente sur la façon dont ils vraiment essayer de mettre en œuvre ces principes au mieux.

3.1.1. Les principes de leur business model – leur « Bon Sens »

Cette entreprise familiale de 125 ans définit son approche des affaires comme un ensemble d'engagements et de pratiques suivant les principes du « bon sens », très clairement exposés dans leur site Web et résumés comme suit par l'équipe qui y participe : « *En tant que pionniers de la jeans et*

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

chefs d'entreprise, le bon sens pour nous, c'est à la fois d'être fabricants, d'être responsables, d'être durables, d'être humains et d'être exigeants. »[8]

ÊTRE FABRICANTS, c'est toujours défendre l'importance d'être une marque manufacturière, avoir une connaissance experte de son atelier et de sa chaîne de valeur, établir une relation directe entre les mains qui fabriquent et les clients qui achètent. Ils considèrent comme leur plus grand atout leur équipe de créateurs de jeans artisanaux.

ETRE RESPONSABLE, c'est un devoir : toujours repenser son atelier, être à l'écoute de la créativité de ses équipes, offrir du bien-être et faire de son entreprise un lieu d'émancipation pour chacun. Il en va de même pour les défis environnementaux qui les attendent, le « moins mais mieux » l'emportera toujours sans débat sur le « toujours plus, quoi qu'il arrive ».

ÊTRE DURABLE est lié à une ambition : toujours évaluer et éliminer les décisions qui pourraient mettre en péril l'avenir des générations à venir. Activistes de bon sens, ce sont des artisans qui mettent tout en œuvre pour penser la mode autrement et la rendre plus durable.

ETANT HUMAINS ils ont une sensibilité : toujours privilégier les relations humaines. La pertinence de ce pour quoi ils militent depuis des décennies est aujourd'hui de plus en plus reconnue : maintenir le lien. Que ce soit avec leur équipe, entre tous les secteurs de l'entreprise ou entre tous les membres de l'équipe avec les clients directement. Il en va de même pour tous leurs ateliers partenaires ainsi que leurs collaborations, une seule chose compte : le plaisir de travailler et de partager ensemble.

EXIGEANTS ils ont une vision : toujours affiner leur attention à tous ces engagements. Ils s'engagent à ce qu'aucun opportunisme financier à court terme ne remette en cause ces valeurs fondamentales et à ce qu'Atelier Tuffery continue à proposer de la mode, mais aussi une façon de faire de la mode, exemplaire et résolument tournée vers les défis à venir.

3.1.2. La preuve transparente d'une réelle mise en œuvre de leurs principes

Ils apportent une preuve de la mise en œuvre de ces engagements pour montrer comment ils pensent local et circulaire et s'engagent pour le développement durable, dans une tradition commencée il y a 150 ans lorsque le fondateur de l'entreprise Célestin Tuffery s'approvisionnait déjà en tissus dans la ville de Nîmes, juste A 100 km de Florac.

Ils utilisent du chanvre. En coopération avec VirgoCoop & HempAct, ils travaillent à la réintégration de la filière chanvre de leur région (Occitanie) en participant au redéploiement d'une culture qui ne nécessite ni irrigation, ni intrants chimiques, ni pesticides. En attendant de pouvoir utiliser du chanvre 100% local dans leurs vêtements, ils intègrent du chanvre européen.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Ils utilisent la laine des moutons locaux qui a souvent été négligée, jetée ou exportée. La laine collectée par les bergers locaux est triée, lavée, filée et tissée localement et rapporte aux producteurs 5 fois plus que le prix moyen au kg en France.

L'origine du coton présent dans leurs tissus est à 90% espagnole et grecque. C'est le coton le plus rare, mais le plus proche qu'ils peuvent trouver.

Depuis plusieurs années, ils travaillent à réduire les fibres plastiques dans leurs vêtements en investissant dans la recherche pour concevoir des vêtements fabriqués à partir de fibres naturelles, comme le chanvre et la laine. Le seul plastique présent dans leurs vêtements concerne une proportion minimale d'élasthanne dans certains de nos jeans, car cela contribue à fournir le bon look sur mesure.

Privilégier l'indigo naturel et les tissus bruts. Beaucoup de leurs produits sont teints avec de l'indigo 100% naturel. Ils essaient de sensibiliser leurs clients à privilégier l'achat de vêtements en matières brutes. Pour quelques modèles aux tons plus clairs, ils ont choisi un procédé de blanchiment entièrement réalisé en France, en totale conformité avec la réglementation REACH.

Pour réduire la consommation d'eau, en collaboration notamment avec les Tissages Mouline Thillot, ils développent de nouveaux tissus nécessitant peu de traitement à l'eau et déploient leur gamme de vêtements en chanvre.

Ils n'excluent pas de coopérer avec un savoir-faire d'excellence au-delà des frontières nationales puisqu'ils travaillent avec des fournisseurs en Italie et en Espagne, qui leur apportent un savoir-faire spécifique, une responsabilité écologique et une qualité qu'ils ne trouvent parfois plus en France. Ils sont très transparents sur qui sont ces fournisseurs, ainsi que sur la justification du coût de leurs produits.

Ils limitent au maximum les déchets et les invendus : ils n'ont jamais de surstock à écouler, il n'y a pas de braderie et pas de gaspillage. Les seuls déchets qu'ils ont sont des produits présentant des défauts de fabrication (moins de 1% de la production globale) qu'ils proposent à leurs meilleurs clients.

Pour leurs emballages, ils expédient les commandes dans des cartons recyclés, fabriqués à Toulouse, France. Ils peuvent être réutilisés pour des échanges ou d'autres expéditions, puis entièrement recyclés 10 fois avant que la fibre ne se dégrade. Leurs flyers, consignes de lavage… sont tous imprimés en France, à quelques kilomètres de l'atelier, sur du papier portant des étiquettes garantissant les normes environnementales et la gestion durable des forêts.

Leurs produits sont garantis par des étiquettes. Ils sont certifiés GOTS – Organic, OEKO-TX, CLEAR FASHION, et produits dans le respect des normes REACH ; l'entreprise est labellisée Entreprise du

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Patrimoine Vivant (EPV) et bénéficie des certifications « Fabriqué en France » et « Origine France Garantie ».

Leurs bâtiments sont modernes à faible consommation d'énergie, conçus avec des matériaux locaux et écologiques et construits par des artisans locaux.

3.2. L'histoire du succès de 1083 une start-up qui réduit l'empreinte du jean

Le concept de base sur lequel cette entreprise française 1083 [9] a été fondée par deux frères en 2013 était de relocaliser à moins de 1083 kms (la distance maximale entre les villes en France) tout le processus de production de jeans, alors que la production de jeans conventionnels rend elles parcourent jusqu'à 65000 kms pour être produites. 100% de leurs jeans sont en coton biologique ou en matières recyclées et sont entièrement produits en France.

L'entreprise a connu une croissance à deux chiffres depuis sa création et a multiplié par 40 son chiffre d'affaires initial avec des circuits courts de production et de livraison et 50% de sa production vendue sur le web et a réussi à attirer 1,7 millions d'euros de capital en 2018 pour financer sa croissance.

Concernant l'empreinte eau de leurs jeans, ils s'engagent, à juste titre, à ce que l'eau utilisée pour le coton ne disparaisse pas entièrement mais le problème est que la surconsommation ou la pollution de l'eau dans une région qui en a besoin pour d'autres usages (notamment pour boire) peut avoir conséquences dramatiques et que le coton OGM très consommateur d'eau et de pesticides doit être remplacé par du coton biologique plus propre. Pour cela, ils utilisent du coton bio de Tanzanie, du Bénin et du Mali produit sans pesticides et la teinture est traitée dans des unités respectant pleinement la législation de l'UE et est lavée au laser sans utiliser le moindre litre d'eau.

Ils sont pionniers de l'économie circulaire : en 2018, ils ont commencé à recycler le coton pour créer 011, leur jean bio fabriqué avec des matières recyclées pour les enfants. Ils proposeront prochainement à leurs clients de produire des jeans en utilisant les matières de leurs vieux jeans recyclés.

Enfin, elles sont également engagées dans une initiative collective intéressante : la reconstruction de la chaîne de valeur du lin en France (qui était en panne depuis 2005, date de fermeture de la dernière filature).

3.3. Revue des entreprises de denim du monde entier proposant des options de jeans verts

Au cours des dernières années, les entreprises de denim ont proposé d'excellentes options de jeans verts aux consommateurs du monde entier. Certains fabriquent des jeans en coton 100% biologique,

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

tandis que d'autres utilisent des teintures indigo naturelles et d'autres utilisent des boutons en bambou pour les jeans. Il existe des entreprises de denim qui non seulement fabriquent des jeans en coton biologique à la mode, mais donnent une partie de leurs bénéfices à des organisations caritatives.

Certaines marques, nouvelles ou anciennes, fabriquent des jeans éthiques et écologiques à partir de matériaux plus écologiques tels que le **coton biologique** (qui utilise moins d'eau et zéro pesticide synthétique par rapport au coton conventionnel), **le tissu excédentaire ou inutilisé** (tissu inutilisé qui serait autrement jeté), ou **des textiles recyclés** (tissu reconstruit à partir de vêtements saccagés). Ils sont également plus attentifs à leurs processus de fabrication, minimisant l'utilisation de colorants et de produits chimiques toxiques tout en maximisant l'efficacité de l'eau et de l'énergie lorsque cela est possible. La revue qui suit utilise différentes recherches sur le web et notamment la liste fournie par le site The Good Trade [10], 11 marques de denim durables que vous devriez connaître …

ABLE

ABLE est un leader de la mode éthique, étant le premier à publier ses salaires sur son site internet, offrant un niveau de transparence sans précédent aux consommateurs et aux citoyens.

Et ABLE s'engage également à offrir les meilleurs styles et ajustements - leurs jeans éthiques avant-gardistes ont juste la bonne quantité d'étirement et sont livrés avec la garantie d'échanges illimités pour vous assurer d'obtenir cet ajustement parfait.

Points forts : fabrication éthique et transparente

ARMEDANGELS

Armedangels est une marque allemande qui a décomposé le processus de création du denim en #detoxdenim. La marque sélectionne son denim à partir de coton 100% biologique, teint avec de l'indigo artificiel ne contenant pas de solvants toxiques, et éclaircit le denim avec des technologies modernes de lavage au laser et à l'ozone pour garder les sels de blanchiment volatils à base de chlore hors de l'environnement et des poumons des ouvriers. Ce jean court végétalien approuvé par PETA est un incontournable qui peut être relevé ou habillé en toute saison.

BELLA DAHL

Bella Dahl a fait son chemin dans cette liste en raison de son dévouement unique aux vêtements fabriqués avec Tencel, un tissu en boucle fermée fabriqué à partir de pâte de bois d'origine durable. Sa collection "Tencera" comprend des bas, des robes et plus encore, tous fabriqués dans des lavages qui imitent l'apparence du denim conventionnel mais avec des textures plus légères et plus douces.

BOYISH

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La marque de denim écologique Boyish s'engage à adopter des pratiques plus écologiques à chaque étape de sa chaîne d'approvisionnement. De l'utilisation de tissus respectueux de l'environnement conscients et innovants comme le coton biologique, le coton recyclé et REFIBRA ™ (fabriqué à partir d'un mélange de chutes recyclées de l'industrie de la mode avec Tencel), à la coloration de leurs jeans durables avec des colorants à base de plantes et à faible impact, à mettant en œuvre le recyclage de l'eau, Boyish est l'une des marques de denim les plus respectueuses de l'environnement au monde.

Points forts : Tissus recyclés et organiques ; pratiques économes en eau et en énergie; colorants écologiques.

DL1961

Engagé dans une fabrication durable, DL1961 s'approvisionne en tissus écologiques comme le Tencel et suit des pratiques circulaires, comme le recyclage et le traitement de 98 % de leur eau, ce qui a permis d'économiser près de 900 millions de gallons d'eau l'année dernière. Les jeans écologiques de DL1961 sont également fabriqués de manière transparente avec toute leur production en interne.

Points forts : intégré verticalement ; économe en eau; utilise Tencel.

EVERLANE

Everlane a toujours été synonyme de transparence. En plus de donner la priorité aux pratiques de travail éthiques, elle a fait de la durabilité un principe majeur de son processus de production.
Les vêtements sont fabriqués à partir de plastique recyclé dans la collection ReNew ainsi que ce que la marque appelle les "baskets à faible impact au monde" de sa ligne de chaussures, Tread. Mais les jeans sont un autre domaine dans lequel Everlane a fait d'énormes progrès en matière de durabilité.

Les jeans sont fabriqués à Saitex, l'usine de denim la plus propre au monde. L'installation recycle 98 % de son eau et utilise de l'énergie propre. Une fois l'eau recyclée, les jeans Everlane utilisent 0,4 litre d'eau contre 1 500 litres d'eau par paire avec les méthodes de production traditionnelles.

E.L.V. DENIM

E.L.V. Les jeans et les vestes en jean de DENIM sont fabriqués à partir de denim vintage mis au rebut trouvé dans des entrepôts à travers le Royaume-Uni. Et les jeans zéro déchet de la marque sont fabriqués dans une usine éthique, où chaque paire de jeans est coupée à la main et confectionnée avec soin par des fabricants qui gagnent des salaires équitables.

Points forts : Production éthique et transparente ; utilise 100% de matériaux recyclés.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Frank And Oak

En 2012, les amis d'enfance Ethan Song et Hicham Ratnani ont fondé Frank And Oak dans le simple but d'aider les hommes à mieux s'habiller avec des vêtements à prix abordables. Après avoir largement dépassé son objectif initial, la marque a lancé une ligne pour femmes et s'est engagée à réduire activement son empreinte carbone - et le denim est l'un de ses principaux domaines d'intérêt.

En s'associant à Hydro-Less Laundry, une usine éco-certifiée de Dubaï, la production de denim de Frank And Oak utilise 79 % moins d'énergie, 50 % moins de produits chimiques et 95 % moins d'eau que les techniques de fabrication traditionnelles. Alors que ses efforts de conservation sont comparables à ceux d'autres marques fabriquant des jeans durables, Frank And Oak se démarque par son prix abordable.

J. Crew and Madewell

J.Crew (et sa marque sœur Madewell) s'est associée à Fair Trade USA, une organisation à but non lucratif qui aide les marques à créer de meilleures conditions de travail pour leurs employés et à mettre en œuvre des processus de fabrication respectueux de l'environnement.

Ce faisant, J.Crew et Madewell ont lancé leurs premières collections de denim certifiées équitables. Également fabriqués dans les usines Saitex, les jeans utilisent 75 % d'eau en moins, 65 % de produits chimiques en moins et moins d'énergie.

Au-delà des avantages en matière de durabilité, les jeans de J.Crew et Madewell offrent aux ouvriers de l'usine Saitex des avantages, un salaire égal pour les femmes et des dons supplémentaires pour soutenir les infrastructures dans leurs communautés locales au Vietnam.

JELT

Jelt fabrique des ceintures élastiques écologiques parfaites pour être associées à votre denim durable. Non seulement les ceintures sont fabriquées à partir de bouteilles en plastique recyclées, mais elles sont fabriquées dans le Montana de manière à autonomiser les femmes mal desservies vivant dans des ranchs ruraux. Sentez-vous bien en portant une Jelt ajustée en sachant que vous soutenez une petite entreprise appartenant à une femme certifiée B-Corp et membre de 1 % pour la planète.

Points forts : Matériaux recyclés ; fabrication responsable, redonne à la charité.

KAPORAL

Cette marque marseillaise n'est pas un label éco-responsable à proprement parler, mais déploie de nombreux efforts pour réduire son impact sur l'environnement. L'une des plus impactantes a été de lancer toute une collection de jeans éco-conçus pour hommes et femmes. Ces derniers sont composés

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

d'un denim avec des fibres de coton biologique, de coton recyclé ou de polyester recyclé, permettant de limiter respectivement la consommation d'eau et d'énergie de 25% et 15%, et l'utilisation de produits chimiques de 20%. Plusieurs coupes sont proposées pour hommes et femmes, du slim au regular en passant par le straight et le skinny. Autre engagement, la marque propose depuis quelques années un programme permettant le rachat et le recyclage des jeans de ses clients.

KUYICHI

Lancée en 2001, Kuyichi est la première marque de denim bio. La marque utilise une forte proportion de matériaux respectueux de l'environnement dont le coton biologique, qui réduit les émissions de carbone de 60% par rapport au coton conventionnel. En plus d'être éco-responsable, la marque néerlandaise est membre de la Fair Wear Foundation, ce qui permet à la marque d'accompagner ses fournisseurs dans la création de conditions de travail équitables pour tous ses employés.

LEVI'S

En 2010, Levi's a lancé la Better Cotton Initiative, qui forme les agriculteurs à utiliser moins d'eau, de pesticides, d'insecticides et d'engrais synthétiques lors de la culture des plants de coton. Actuellement, plus de 20 % du coton utilisé par Levi's - pas seulement pour son denim, mais aussi pour ses vêtements - est qualifié de meilleur coton, et ce pourcentage augmente rapidement. D'ici 2020, la marque espère utiliser du coton issu de sources durables dans 100% de ses produits.

En termes de fabrication, les techniques Levi's Water < Less ont fait beaucoup pour l'environnement. Jusqu'à présent, Levi's a économisé plus de 3 milliards de litres d'eau et recyclé plus de 2 milliards de litres d'eau. À ce jour, plus de 67 % des produits Levi's sont fabriqués avec des techniques Water < Less et d'ici 2020, l'objectif est d'augmenter ce chiffre à 80 %.

La marque s'est également récemment associée au programme Blue Jeans Go Green de Cotton pour sauver le vieux denim des décharges en le transformant en isolant pour les maisons et les bâtiments.

MUD JEANS

Ce guide des jeans durables ne serait pas complet sans la marque de denim éco-responsable MUD Jeans ! Cette marque leader de l'industrie utilise des tissus écologiques comme le coton recyclé certifié et le coton biologique, suit des pratiques économes en eau (chaque paire de jeans MUD utilise seulement 8 % de l'eau qu'une paire de jeans typique nécessite) et des pratiques économes en énergie. (ils émettent près de 70 % moins de CO2 par paire de jeans que la moyenne de l'industrie. Et, si vous souhaitez rafraîchir votre garde-robe plus fréquemment tout en le faisant de manière durable, vous pouvez également louer une paire de jeans chez MUD Jeans !

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Points forts : Matériaux organiques et recyclés ; économes en eau et en énergie ; neutre en carbone (et s'efforçant d'être carbone positif).

NUDIE JEANS

Nudie Jeans est la boutique incontournable pour trouver des jeans pour hommes ou des jeans boyfriend pour votre propre garde-robe. Offrant des services de réparation gratuits et des remises en magasin lorsque vous retournez de vieux jeans dont vous ne voulez plus, Nudie Jeans a vraiment pensé à l'ensemble du cycle de vie de ce qu'ils fabriquent, prouvant leur expertise dans l'industrie et leur attention pour les personnes et l'environnement qu'ils servent.

Points forts : Coton biologique ; rapports de transparence complète ; services de réparation gratuits.

ORGANIC BASICS

En mission pour créer un denim circulaire, Organic Basics propose une collection de jeans et de vestes en denim fabriqués à partir de 90 % de coton biologique certifié GOTS et de 10 % de coton recyclé.
En plus d'utiliser des tissus partiellement recyclés, le denim durable d'Organic Basics ne contient pas de mélanges synthétiques, il peut donc être plus facilement recyclé en fin de vie.

Points forts : Textiles organiques et recyclés, conçus pour être recyclables ; expédition mondiale de compensation carbone.

OUTERKNOWN JEANS

Fondé par le surfeur professionnel Kelly Slater, Outerknown se décrit comme "Pour les gens et la planète". La marque prend chaque décision avec le plus grand respect pour les personnes qui fabriquent leurs produits et la planète sur laquelle ils sont produits.

S.E.A. d'Outerknown Les jeans sont fabriqués à partir de coton 100 % biologique et sont également produits dans les usines propres de Saitex. Malgré l'accent mis sur le respect de l'environnement, Outerknown n'a fait aucun compromis en termes de qualité - et la marque soutient pleinement ses produits avec une garantie à vie. Si votre S.E.A. Les jeans s'usent ou se cassent, vous pouvez les renvoyer et Outerknown les réparera ou les remplacera gratuitement.

OUTLAND DENIM

Fondée initialement pour créer des opportunités d'emploi pour les femmes survivantes du trafic sexuel, Outland Denim adhère à des normes de fabrication éthiques strictes pour ses jeans durables.
Parcourez une gamme de coupes et de lavages classiques pour trouver votre paire à feuilles persistantes parfaite et faites de ces jeans en coton biologique des incontournables de votre garde-robe pour les années à venir.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Points forts : utilisation de coton biologique et pratiques économes en eau ; Certifié B-Corp ; Chaîne d'approvisionnement traçable à 94 % avec zéro exploitation.

PATAGONIA

Connu comme un pionnier des vêtements d'extérieur durables, les jeans écologiques de Patagonia ne sont pas différents du reste de leur collection. Leur denim est conçu pour la performance, construit pour la durabilité et fabriqué avec des matériaux conscients, tels que le coton biologique. La marque propose également un certain nombre de jeans certifiés équitables.

Points forts : Coton biologique ; Production équitable, teinture indigo économe en eau et en énergie.

PRANA

En tant que marque habillant des yogis, des voyageurs et des explorateurs conscients de notre planète, vous pouvez être sûr que Prana prend la durabilité très au sérieux. Dans son guide du denim, vous trouverez six styles différents, tous fabriqués avec du coton biologique. Si vous recherchez des jeans classiques et confortables fabriqués consciemment dans une large gamme de couleurs terreuses, ne cherchez pas plus loin.

Points forts : Coton biologique ; large gamme de couleurs.

RE/DONE

Re/Done fabrique des jeans littéralement refaits. L'équipe collectionne des Levi's vintage et les reconstruit dans des coupes modernes, mettant ainsi d'une part en valeur la durabilité des jeans Levi's et d'autre part, créant des styles flatteurs avec des matériaux préexistants, sinon saccagés. Parce que chaque pièce est fabriquée avec des textiles récupérés, la vôtre sera vraiment unique en son genre.

Points forts : Textiles recyclés ; chaque pièce unique en son genre.

SÉZANE

Le "Denim Eco-Responsable" de Sézane est fabriqué à partir de tissus respectueux de l'environnement comme le coton biologique certifié GOTS pour le tissu principal et le polyester recyclé pour plus d'élasticité. Les jeans en denim durable sont également disponibles dans des coupes ultra-flatteuses et tendance. Pour leur fabrication, Sézane travaille avec des partenaires de confiance de longue date et leurs ateliers sont audités annuellement.

Points forts : Utilise des tissus organiques et recyclés.

STELLA MCCARTNEY

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Là où la mode de luxe rencontre la mode consciente se trouve Stella McCartney, une marque de créateurs qui utilise depuis longtemps des matériaux respectueux de l'environnement et sans cuir dans ses collections lorsque personne d'autre ne le faisait. Naturellement, vous pourrez trouver ici des jeans soigneusement confectionnés. Faites juste attention à ne pas vider votre portefeuille avec les prix élevés.

Points forts : Coton biologique ; sans cuir.

Taylor Stitch Organic '68 Denim

Lorsque Taylor Stitch a commencé à produire sa signature '68 Denim en 2011, la marque s'est associée à Cone Mills à Greensboro, en Caroline du Nord. En s'appuyant sur la légendaire entreprise textile en coton, Taylor Stitch s'est vu garantir le denim selvedge de fabrication américaine de la plus haute qualité pour ses jeans - mais lorsque Cone Mills a fermé les portes de sa dernière usine de White Oak et que l'offre existante s'est finalement épuisée, Taylor Stitch est retourné à la planche à dessin dans le but de reproduire le jean pour qu'il soit plus durable et meilleur qu'avant.

Après avoir passé plus d'un an à chercher les bons matériaux et le bon fabricant, Taylor Stitch a collaboré avec l'usine ISKO, le plus grand producteur mondial de denim au monde, et a réédité le '68 Denim - cette fois en utilisant 100 % de coton biologique (sans pesticides).) et des méthodes de production durables qui utilisent beaucoup moins d'eau, d'énergie et de produits chimiques.

Warp + Weft

Fondée par Sarah Ahmed, Warp + Weft a eu un impact sur l'industrie du vêtement avec sa gamme ultra-inclusive de tailles et d'entrejambes, mais elle est également présentée comme la société de denim intégrée verticalement la plus propre au monde (ce qui signifie qu'elle possède sa propre usine).

Depuis le lancement de la marque en 2017, ils ont vendu plus de 477 000 paires de jeans et économisé plus de 572,4 millions de gallons d'eau.

Pour être totalement transparent sur son processus de fabrication, Warp + Weft donne un aperçu de son usine, mettant en évidence des éléments tels que le coton issu de sources responsables, la teinture écologique, les techniques d'économie d'eau et l'énergie solaire.

4. Conclusion

La fabrication de jeans selon la méthode conventionnelle peut ne pas sembler être un gros problème en termes de durabilité, mais si la taille du secteur et les méthodes de production de jeans sont prises en compte, cela fera une grande différence. On peut imaginer l'impact du secteur du denim sur

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

l'environnement, si tous les jeans du monde sont produits selon des méthodes respectueuses de l'environnement.

Aujourd'hui, de nombreuses entreprises de denim s'efforcent d'adopter des méthodes plus écologiques et s'efforcent également de développer de nouvelles techniques de production de jeans, dans le cadre de leurs stratégies commerciales de protection de l'environnement. Ils ont compris l'importance et la nécessité de bâtir une entreprise durable.

Les entreprises de denim commencent à avoir une compréhension claire des pratiques menées par les fournisseurs. Bien que la chaîne d'approvisionnement soit répartie dans différents pays, mais lorsqu'ils transigent sur leurs normes éthiques et environnementales, la réputation de la marque est endommagée.

Actuellement, les prix du coton sont à un niveau record et la demande des clients pour les jeans est en hausse. Dans cette situation délicate, les fabricants doivent également adhérer au concept de durabilité. Le jean durable n'est pas un concept introduit uniquement dans les pays développés, mais aussi dans les pays en développement comme l'Inde et la Chine. Les créateurs indiens ont imaginé des denims écologiques pour leurs clients.

De nouveaux développements comme les jeans sans eau et la croissance de l'industrie du coton biologique ont contribué à maintenir l'approche de durabilité. Il faut faire des choix durables lors de l'achat de denims tels que le coton biologique, les teintures naturelles, les rivets et les boutons fabriqués à partir de matériaux naturels ou recyclés. Évitez les lavages qui nécessitent des produits chimiques agressifs comme les jeans délavés, délavés ou blanchis. Achetez toujours des styles classiques qui resteront à la mode.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] A.K. Chapagain, A.Y. Hoekstra, H.H.G. Savenije, R. Gautam, Issue no 60 of Ecological Economics provided "An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries", 2006 [Online] Disponible sur : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800905005574 [Consulté le : Juin. 17, 2021].

[2] BBC, 2021, "Xinjiang cotton: How do I know if it's in my jeans?" Disponible sur : https://www.bbc.co.uk/news/world-asia-china-56535822 [Consulté le : Juin. 10, 2021].

[3] Business Beyond Borders, matchmaking event, 2017 [Online] Disponible sur : https://www.eurochambres.eu/event/business-beyond-borders-matchmaking-event-at-genera-2017 [Consulté le : Juin. 9, 2021].

[4] J.M. Allwoodet al., Well dressed? The present and future sustainability of clothing and textiles in the United Kingdom, Cambridge: University of Cambridge, Institute for Manufacturing, 2006.

[5] S. Gray, European Clothing Action Plan, Mapping clothing impacts in Europe: The environmental cost, 2017. [Online] Disponible sur : http://www.ecap.eu.com/wp-content/uploads/2018/07/Mapping-clothing-impacts-in-Europe.pdf [Consulté le : Juin. 17, 2021].

[6] Hasanbeigi, A., Price, L. (2015) "A Technical Review of Emerging Technologies for Energy and Water Efficiency and Pollution Reduction in the Textile Industry", *J. Cleaner Product*., 95, 30-44.

[7] BBC (2020, 0310), 'Can fashion ever be sustainable?' [Online] Disponible sur : https://www.bbc.com/future/article/20200310-sustainable-fashion-how-to-buy-clothes-good-for-the-climate [Consulté le : Juin. 13, 2021].

[7] Jeanologia, 2021. [Online] Disponible sur : https://www.jeanologia.com/products/ [Consulté le : Juin. 14, 2021].

[8] Atelier Tuffery, 2021, Common-sense-manifesto [Online] Disponible sur : https://www.ateliertuffery.com/en/the-common-sense-manifesto [Consulté le : Juin. 27, 2021].

[9] 1083, 2021, [Online] Disponible sur : https://www.1083.fr/projet [Consulté le : Juin. 25, 2021].

[10] The Good Trade, 11 Sustainable Denim Brands You Should Know Exist, [Online] Disponible sur : https://www.thegoodtrade.com/lists/ethical-denim [Consulté le : Juin. 27, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

1. Question 1 : Quelle est l'une des grandes tendances d'une production de jeans écoresponsable ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) L'utilisation de coton ou d'autres fibres (comme le chanvre) nécessitant moins d'eau pour pousser
b) L'utilisation de coton 100%
c) L'utilisation de polyester et de coton

2. Question 2 : Le processus vert naissant dans la production de jeans consiste à ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) L'utilisation de bulles d'air de taille nanométrique
b) Les méthodes de teinture traditionnelles
c) L'utilisation de colorants et de produits chimiques

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Unité 3 Aspects Qualité et Pratiques de Laboratoire

Traduit par :

Feriel BOUATAY, Lobna ABID, Faouzi KHEDHER, Neji LADHARI, Fadhel JAAFAR (ISMM)

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Contenu

Contenu 149

Cours 3.1 Caractérisitiques techniques des produits finis et conformité de produit 152

1. Résumé et objectifs de cette unité d'apprentissage 152

2. Aspects qualité des caractéristiques techniques 152

2.1. Définition de la notion de qualité 152

2.2. Définition des besoins en qualité par les parties prenantes 154

2.3. Contrôle Qualité 156

3. Analyse des catégories de spécifications de qualité 157

3.1. Propriétés mécaniques des matériaux 157

3.1.1. Dimensions et Design 158

3.1.2. Propriétés chimiques et d'humidité 159

3.2. Correspondance de couleur 160

3.3. Propriétés fonctionnelles 162

4. Santé et sécurité du produit / Exigences légales / Durabilité 163

5. Résumé des aspects d'élaboration des caractéristiques techniques pour les produits textiles et d'habillement 165

Références 166

Questions d'évaluation du cours 167

Cours 3.2. La Science des couleurs et la communication et le contrôle objectifs de la couleur 168

1. Résumé et objectifs de cette unité d'apprentissage 168

2. Introduction à la science des couleurs 168

3. Concepts physiques et chimiques 169

4. Concepts physiologique 172

5. Concepts psychologiques 175

6. Interprétations numériques et mathématiques - Établissement d'espaces colorimétriques 176

7. Équations de différence de couleur 179

7.1. CIE94 180

7.2. CIEDE2000 181

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

7.3. CMC l:c (1984) 181
8. Application des aspects de la science des couleurs aux textiles 182
Références 183
Questions pour l'évaluation du cours 184
Cours 3.3 Gestion et test des couleurs 185
1. Résumé et objectifs de cette unité d'apprentissage 185
2. L'importance de la couleur dans l'industrie du textile et de l'habillement 185
3. Le rôle de la perception humaine des couleurs 187
4. Facteurs affectant les données de couleur et l'évaluation 189
6. Les couleurs « non mesurables » 192
7. Avantages de la gestion des couleurs et de la numérisation de la marque 193
Références 195
Questions pour l'évaluation du cours 196
Cours 3.4 Introduction et aperçu sur l'équipement de laboratoire décrit dans le projet WINTEX 197
1. Introduction 197
2. Equipement pour la fabrication textile 198
2.1. Équipement d'électro-filage 198
2.2. Équipement du procédé fusion - soufflage 200
2.3. Matériel de coupe et d'enroulement des non tissés 202
2.4. Matériel d'ourdissage 202
2.5. Machine à tricoter automatique rectiligne 203
2.6. Tufetage manuel 205
3. Équipement pour l'ennoblissement des textiles 205
3.1. Matériel d'impression par sublimation 205
3.2. Machine d'impression numérique 207
3.3. Équipement à ultrasons 207
3.4. Équipement de calandrage 209
3.5. Presse à chaud 209
3.6. Machine de gravure et à découpe laser 210
3.7. Machine à broder numérique 211

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

4. Équipement pour la conception de textiles 212
4.1. Logiciel de conception de vêtements 3D 212
4.2. Scanner corporel 3D 213
4.3. Machine d'impression 3D 213
5. Équipement pour la caractérisation des textiles 216
5.1. Microscope électronique à balayage (MEB) 216
Références 218

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 3.1 Caractérisitiques techniques des produits finis et conformité de produit

A. A. Tsoutseos
UNIWA

1. Résumé et objectifs de cette unité d'apprentissage

Par rapport à d'autres domaines tels que ceux manufacturier et mécanique, les caractéristiques techniques n'ont pas fait l'objet d'application dans celui de fabrication de textiles, et en particulier l'industrie du vêtement. Cela tient principalement au fait que la création de vêtement est souvent considérée comme un art pour lequel l'esthétique prévaut sur la technologie et la description de l'article. La seule exception a concerné le domaine militaire pour lequel les caractéristiques techniques des articles d'habillement ont commencé à être détaillées depuis une cinquantaine d'années.

L'évolution vers des marchés libéralisés et une production mondialisée a rendu nécessaire la caractérisation technique, de sorte à ce que les articles conçus dans n'importe quel pays du monde soient ceux finalement fabriqués dans un autre.

Les vêtements présentent un nombre important de propriétés souhaitées qui font l'objet d'un examen aussi bien lors de leur achat que de leur utilisation. Ces propriétés sont d'ordre esthétique, utilitaires, voire même liées à leur capacité de rester en bon état lors d'une utilisation ultérieure. La cartographie de cet ensemble complexe de propriétés est difficile à mettre en place et exige une connaissance approfondie des matériaux, des propriétés textiles, des normes et du comportement des clients.

Dans cette unité d'apprentissage, il est question d'introduire les notions de "qualité" et de "contrôle qualité". La qualité souhaitée sera traduite en caractéristiques techniques. A la fin de cette unité, quelques exemples seront présentés.

2. Aspects qualité des caractéristiques techniques

2.1. Définition de la notion de qualité

Le terme "qualité" admet plusieurs définitions, dans la mesure où il implique souvent une subjectivité et est appliqué à une large gamme de produits et d'opérations. A titre d'exemple, il existe une compréhension différente de ce terme en fonction du domaine d'application, s'il s'agit de

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

fabrication, de services ou de produits de mode En ce qui concerne le champ d'application des produits d'habillement, la definition ISO [5] est communément acceptée lorsque:

"La *qualité est l'aptitude de l'ensemble des caractéristiques d'un* ***produit*** *ou d'un* ***service*** *à satisfaire des besoins exprimés ou implicites*".

Dans cette définition proposée par l'ISO, il est intéressant de souligner qu'elle décrit à la fois des produits et des services. Une fois mis en application, ces derniers ne doivent pas être considérés comme distincts de la demande. Approchée de manière synthétique, cette définition laisse sous-entendre que le produit "*porte*" des services.

Par exemple, les fabricants A et B peuvent founir exactement le même produit. Toutefois B répond plus rapidement aux commandes supplémentaires, tout en offrant un très bon service de dépannage. C'est ainsi que le produit B fournit des services qui ajoutent à sa valeur et à sa qualité. Ce paramètre relevant des services est souvent négligé dans le domaine de fabrication des textiles et les transactions commerciales, faisant prévaloir le prix le plus bas. Egalement, ce paramètre est rarement mentionné dans les caractéristiques techniques, bien qu'il puisse figurer parfois dans les contrats. Les autres services offerts par un produit vestimentaire sont entre autres:

- Design unique
- Gamme de couleurs à la mode
- Nom et notoriété de la marque
- Service client
- Réponse rapide
- Equité de la production
- Aspects durables

Une partie importante de la définition concise telle qu'avancée par l'ISO concerne les besoins [2]. **Les besoins exprimés** sont ceux qui sont clairement définis par le client. Parfois, ils sont également appelés **besoins explicites**. A titre d'exemple, le client peut demander une veste en 100% laine. Il s'agit d'un besoin affirmé, bien défini et qui peut être intégré dans les caractéristiques techniques du produit. Le même client s'attend à ce que la veste en laine conserve sa forme et ses propriétés mécaniques après avoir été lavée. Il s'agit dans ce cas d'un **besoin implicite** qui est plus difficile à prévoir ou à décrire techniquement dans les spécifications. Les services tels que décrits précedemment font également partie des besoins implicites et ce bien que l'évolution de la législation et des normes les transforment progressivement en des besoins déclarés.

La qualité ne peut pas être appliquée pour tous les types d'articles. En effet, il existe des articles qui ne peuvent pas être décrits comme étant des articles de qualité. Les domaines hors champs d'application de la qualité sont : l'art, les antiquités, les objets culturels et patrimoniaux, les produits de grande valeur tels que les bijoux et les produits très luxueux. Cette dernière catégorie est

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

intéressante pour le cas des vêtements et signifie qu'une robe de créateur très chère ne rentre pas dans les limites de la qualité conventionnelle.

Figure 1 : La qualité ne peut pas être appliquée au patrimoine, aux antiquités, aux oeuvres d'art et aux articles de luxe.

2.2. Définition des besoins en qualité par les parties prenantes

Les produits sont développés dans un environnement complexe, au sein duquel intervient un large éventail de parties prenantes pour juger de leur qualité. Pour ce qui est de la fabrication de vêtements, les parties prenantes les plus courantes sont:

- Le consommateur final
- Le client interne
- L'organisation
- Les organismes gouvernementaux
- Les organiisations et organismes internationaux

Le consommateur est communément le principal acteur qui se prononce sur la qualité d'un produit. Les aspects fondamentaux qu'un consommateur recherche habituellement dans un produit sont centrés sur le coût, le design, la mode et l'image. Par ailleurs, la performance est souvent nécessaire au même titre que l'endurance dans le temps qui est implicitement attendue. D'autres aspects de la qualité sont également retenus par le consommateur et concernent les matériaux, la disponibilité et bien sûr la santé et la sécurité d'utilisation.

Les produits textiles sont fabriqués dans des industries de type vertical où le produit d'une partie est l'entrée d'une autre. Il s'agit ici du client interne. Dans la chaîne d'approvisionnement habituelle, la

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

partie prenante la plus importante pour le sous-traitant est le client. Ces clients qui se situent entre le consommateur final et les fabricants de vêtements sont dans la plupart des temps des marques. Les clients internes et les clients en ce qu'ils définissent généralement les spécificités techniques ou une grande partie de celles-ci, c'est à eux que revient la définition de la qualité dans les termes les plus techniques. Ces derniers recherchent également des produits à des prix compétitifs ainsi que des produits sécurisés. En sus de ces facteurs, un autre facteur est actuellement entrain de gagner en importance, en l'occurence celui relevant de la conformité aux réglementations, initiatives et normes nationales et internationales [3].

L'entreprise en charge de la production peut être considérée comme une organisation au sens général du terme, ayant des besoins propres en qualité pour ses produits. A ce titre, plus l'entreprise est grande, plus ses besoins internes deviennent compliqués. Tout d'abord, l'entreprise peut fixer en interne ses propres caractéristiques techniques et opérationnelles, en vue d'assurer le meilleur fonctionnement de sa ligne de production. Ces caractéristiques sont également liées aux objectifs de disponibilité des services et aux normes de sécurité d'exploitation. De plus, l'entreprise peut adopter une éthique spécifique et une image ou un statut externe qui dicte certains besoins en qualité. Par ailleurs, un nombre de plus en plus important d'entreprises disposent désormais d'auditeurs internes et externes qui imposent des exigences de qualité pour les produits et leurs procédés de production, dans un souci de conformité aux organismes de normalisation ou de certification.

Le gouvernement de chaque pays est aussi une partie prenante de la qualité. A titre d'exemple, le gouvernement peut intervenir en tant que client de certaines industries textile pour satisfaire les besoins en habillement du secteur public tels que ceux de la santé. Dans ce cas de figure, le gouvernement dicte de façon détaillée et precise les spécifications techniques. Pour les autres cas, les gouvernements sont généralement plus portés vers les aspects environnementaux et éthiques de la fabrication de produits, tout en veillant à ce que les enterprises demeurent en conformité avec le droit et les normes environnementales internationales.

Finalement, les parties prenantes qui définissent la qualité sont des organismes internationaux, tels que l'UE, l'ONU, l'ISO. Ces instances internationales jouent aujourd'hui un rôle primordial dans la mesure oi les produits destinés à certains marchés doivent être conformes à un ensemble de règles prédéfinies. C'est le cas par exemple pour les produits textiles teints avec certaines catégories de colorants azoïques qui ne peuvent pas être importés dans l'UE, ou bien également l'exigence de la certification REACH, à la fois plus large et compliquée, pour la production de textiles. Au même titre, l'ONU exige pour la fabrication de produits textiles de ne pas avoir recours au travail des enfants et à des pratiques déloyales. Ces exigences ne relèvent pas exactement de caractéristiques techniques des produits, mais concernent l'aspect plus large de la qualité où les services font partie intégrante du produit comme décrit précedemment.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

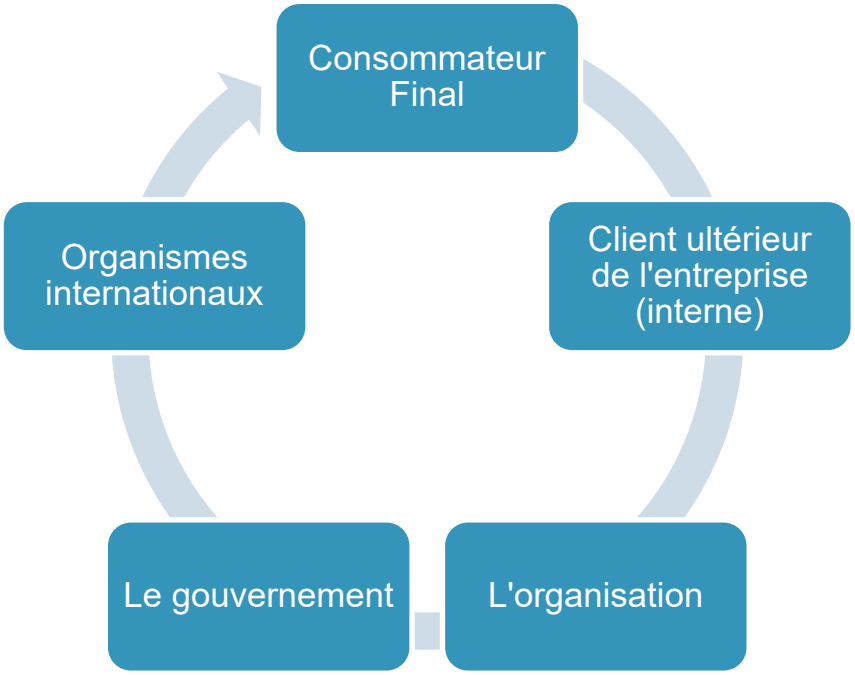


Figure 2. Parties prenantes des besoins en qualité pour un produit

Dans ce document, seules les parties prenantes les plus importantes ont été analysées. Cependant, il reste évident que les caractéristiques techniques reflètent les demandes de toutes les parties prenantes, rendant donc assez compliqué leurs analyses.

2.3. Contrôle Qualité

Le contrôle qualité est define selon ISO 9000 [4] comme " *une partie du management de la qualité axé sur le respect des exigences de qualité*". Dans la pratique, le contrôle de la qualité appliqué au domaine des textiles est bien développé, avec des exigences de qualité qui sont exprimées de manière générale ou précise dans les caractéristiques techniques. Ces exigences sont par la suite traduites en des méthodes de laboratoire pour tester les échantillons de production et s'assurer de leur conformité. Les exigences de qualité les plus faciles à définir sont celles addressées par le client à son paternaire sous-traitant et celles du client final. Ces exigences sont classées par catégorie comme decline ci-dessous :

- Propriétés mécaniques des matériaux
- Dimensions et design
- Propriétés chimiques et d'humidité
- Correspondance des couleurs
- Fonctionnalité
- Santé et sécurité du produit
- Exigences légales et autres

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Chaque catégorie compte tenu de la complexité du produit et de ses aspects fonctionnels renferme plusieurs propriétés. Par exemple, il est évident qu'un T-shirt présente un ensemble de propriétés de qualité inférieur à celui d'une veste d'hiver. La traduction de ces exigences en méthodes et tests de laboratoire a soulevé de nombreux défis au fil des années et n'a cessé de l'être jusqu'à ce jour. Fort heureusement, ce process est aujourd'hui materialisé par de grandes institutions nationales et internationales à l'image de ISO, le rendant par la même plus objectif et applicable partout dans le monde.

Le contrôle de la qualité des textiles est meilleur lorsqu'il est réalisé par des laboratoires spécialisés. Toutefois, les entreprises de production peuvent elles-mêmes réaliser un ensemble d'essais et de de tests via l'utilisation de certains équipements de laboratoire. L'étendue de ces tests de contrôle de qualité réalisés en interne dépend de l'échelle du producteur et des exigences de rapidité de réponse. En effet, les grands producteurs peuvent disposer de ressources financières suffisantes pour créer leurs propres laboratoires en interne, même s'il leur est difficile de posséder tous les équipements spécialisés pour toutes les demandes. C'est le cas en particulier de certaines certifications légales comme sans azo ou REACH qui à défaut d'être réalisées en interne, même pour les grands producteurs, font l'objet d'une sous-traitance auprès de laboratoires accrédités très spécialisés. D'autre part, il existe d'autres types de tests realizes à l'échelle de la ligne de production, et pour lesquels il faudrait investir dans l'équipement pour assurer un retour rapide de l'information du contrôle qualité. Il est nécessaire pour les enterprises de veiller à l'équilibre entre ce qui doit être réalisé en interne et ce qui doit être externalisé.

3. Analyse des catégories de spécifications de qualité

3.1. Propriétés mécaniques des matériaux

Les propriétés mécaniques et des matériaux se refèrent généralement aux propriétés du tissu du vêtement. Les propriétés qui sont examinées dans cette catégorie sont:

- Composition du tissu (exemple: 100% laine, 70% Polyester/30% cotton, etc.)
- Poids du tissu (g/m^2)
- Type de tissage ou de tricot
- Titres de fibres ou de fils
- Résistance à la traction
- Résistance au boulochage

Les propriétés mécaniques étant plutôt basiques et bien maîtirisées dans la fabrication de textile, sont les plus faciles à incorporer dans les caractéristiques techniques.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

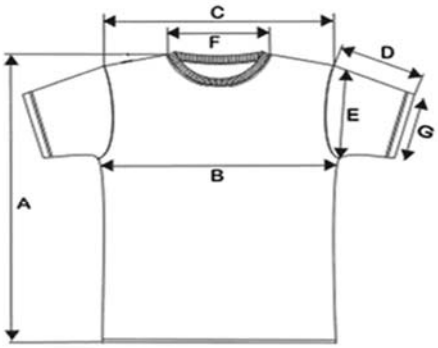
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Figure 3. Une machine de laboratoire de résistance à la traction

3.1.1. Dimensions et Design

Les spécifications relatives à la conception et aux dimensions se rapportent aux caractéristiques de forme globale du vêtement. Elles peuvent être communiquées de diverses manières. Pour les caractéristiques techniques, les moyens les plus couramment utilisés sont les photos, les échantillons de tissus et les tableaux contenant différentes longueurs de pièces selon les tailles souhaitées. Pour les articles simples, tels que les T-shirts, il existe des tableaux de tailles universels. La meilleure façon pour communiquer de façon objective sur les caractérisitiques de qualité liées à la conception et à la taille est l'utilisation de fichiers informatiques générés par des systèmes de CAO spécialisés.

Les patrons de couture et la qualité du fil à coudre sont également décrits dans la catégorie dimensions et design, au même titre que l'étiquetage et les accessoires.



	MEN'S T-SHIRTS SIZE CHART	S	M	L	XL	XXL
A	BODY LENGTH	68	70	72	74	76
B	CHEST 1 INCH BELOW FROM ARMHOLE	52	54	56	58	60
C	ACROSS SHOULDERS	44	46	48	50	52
D	SLEEVE LENGTH	20	20.5	21	22	23
E	ARMHOLE	25.5	26	26.5	27	27.5
F	NECK OPENING	16	16.5	17	17.5	18
G	SLEEVE OPENING	18	18.5	19	19.5	20

	WOMEN'S T-SHIRTS SIZE CHART	S	M	L	XL	XXL
A	BODY LENGTH	60	62	64	66	68
B	CHEST 1 INCH BELOW FROM ARMHOLE	38	40	42	44	46
C	ACROSS SHOULDERS	37	38	39	40	41
D	SLEEVE LENGTH	12	12	13	13	14
E	ARMHOLE	20	21	22	23	24
F	NECK OPENING	20	21	21.5	22	22.5
G	SLEEVE OPENING	13	14	14.5	15	15.5

Note: All the measurements are in centimeters

Figure 4. Tableau des tailles universelles pour les T-shirts pour hommes et pour femmes

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3.1.2. Propriétés chimiques et d'humidité

Les exigences de qualité relatives aux procédés chimiques et humides sont principalement les suivantes :

- Spécifications des colorants ou des pigments
- Solidité au lavage
- Résistance au frottement
- Résistance à la transpiration
- Résistance à la lumière et aux intempéries
- Description des exigences de finition pour l'esthétique ou la fonction
- Résistance à l'eau (si nécessaire)
- Stabilité dimensionnelle

Les méthodes d'accès à ces propriétés sont généralement basées sur les normes ISO, en particulier sur la famille des normes EN ISO 105-XXX pour les analyses textiles.

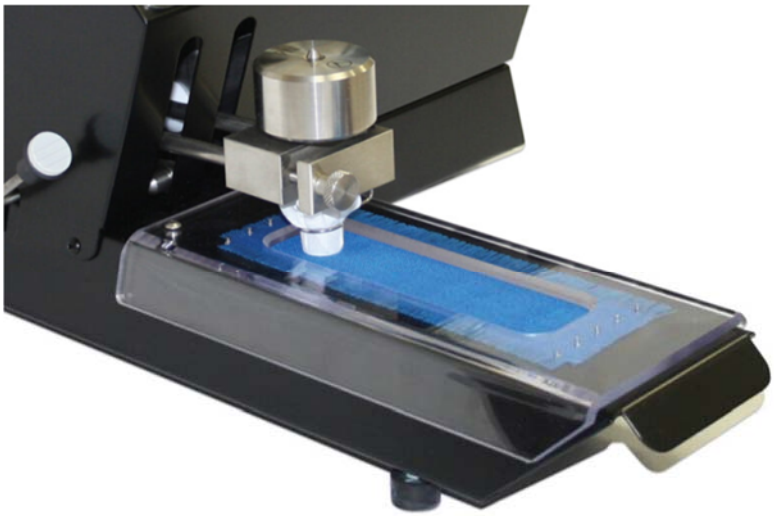
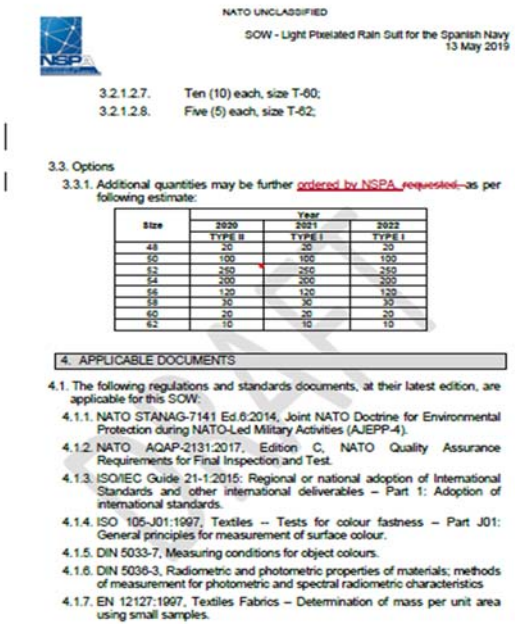


Figure 5. Machine de résistance au frottement (avec l'aimable authorisation de James Hill)

Chaque norme EN ISO 105-XXX / possède des cotes qui aident l'utilisateur à définir les exigences de solidité ou de performance souhaitables dans les spécifications techniques. Sur les présentations formelles des spécifications techniques, telles que celles écrites dans l'armée ou les organisations gouvernementales [5], les normes utilisées pour décrire les méthodes de contrôle sont répertoriées dans le texte précédant la spécification juste après le domaine d'application. Dans d'autres cas, les normes sont soient en annexes, soient mentionnées dans le texte.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union



NATO UNCLASSIFIED

SOW - Light Pixelated Rain Suit for the Spanish Navy
13 May 2019

3.2.1.2.7. Ten (10) each, size T-60;
3.2.1.2.8. Five (5) each, size T-62;

3.3. Options

3.3.1. Additional quantities may be further ordered by NSPA ~~requested~~ as per following estimate:

Size	Year		
	2020	2021	2022
	TYPE II	TYPE I	TYPE I
48	20	20	20
50	100	100	100
52	250	250	250
54	200	200	200
56	120	120	120
58	30	30	30
60	20	20	20
62	10	10	10

4. APPLICABLE DOCUMENTS

4.1. The following regulations and standards documents, at their latest edition, are applicable for this SOW:

4.1.1. NATO STANAG-7141 Ed.6:2014, Joint NATO Doctrine for Environmental Protection during NATO-Led Military Activities (AJEPP-4).

4.1.2. NATO AQAP-2131:2017, Edition C, NATO Quality Assurance Requirements for Final Inspection and Test.

4.1.3. ISO/IEC Guide 21-1:2015: Regional or national adoption of International Standards and other international deliverables – Part 1: Adoption of international standards.

4.1.4. ISO 105-J01:1997, Textiles -- Tests for colour fastness – Part J01: General principles for measurement of surface colour.

4.1.5. DIN 5033-7, Measuring conditions for object colours.

4.1.6. DIN 5036-3, Radiometric and photometric properties of materials; methods of measurement for photometric and spectral radiometric characteristics

4.1.7. EN 12127:1997, Textiles Fabrics – Determination of mass per unit area using small samples.

Figure 6. Page non classée d'une combinaison de pluie pixelisée standard de l'OTAN pour la lumière

3.2. Correspondance de couleur

La spécification de la couleur fait partie intégrante de la qualité en soi. Par le passé, le moyen unique pour spécifier les couleurs était d'échanger des échantillons existants. C'était une méthode très peu fiable et inefficace lorsque le client n'est pas à proximité du producteur. Actuellement, il existe deux manières pour définir la couleur souhaitée :

- Utilisation d'une couleur atlas comme Pantone
- Utilisation de données colorimétriques telles que les coordonnées de couleur CIEL*a*b* ou les valeurs de réflectance.

La plupart des clients utilisent les deux méthodes en parallèle, chacune ayant ses propres avantages.

Les atlas de couleur sont relativement bon marché et pratiques puisque les designers sont habitués à choisir entre les couleurs sur la base de critères subjectifs et esthétiques. En effet, ils se sentent assez à l'aise en parcourant l'atlas. Les atlas sont produits de façon extrêmement répétitive et précise, portant sur divers matériaux y compris les textiles. En revanche, leur principal inconvénient concerne la subjectivité qui entoure leur visualisation, dans la mesure où la couleur perçue dépend des conditions de visualisation et parfois de l'acuité des couleurs de l'observateur. De plus, étant matérielles, ils peuvent se salir ou vieillir.

Les exemples de codage des atlas de couleur sont des descriptions de couleur assez courantes dans les caractéristiques techniques. Comme mentionné, ils sont un moyen pratique pour décrire la

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

couleur désirée. Cependant, ils ne peuvent pas être utilisés pour décrire les tolérances ou les limites de réussite/échec. Dans ce cas, les valeurs colorimétriques sont le meilleur choix.

Les valeurs colorimétriques d'un échantillon souhaité sont mesurées via un colorimètre ou via un spectrophotomètre à réflectance. Le colorimètre peut donner des coordonnées de couleur comme CIEL*a*b*. Ces valeurs sont adéquates pour déterminer la couleur exacte. De plus, lorsque ces valeurs sont connues, des tolérances de différence de couleur peuvent être spécifiées, ce qui est un aspect très précieux dans les spécifications techniques et dans les décisions de réussite/ échec. La tolérance est décrite pas des équations de différence de couleur comme ΔE* ou ΔECMC et autres. Les limites communes d'acceptations dans les spécifications techniques sont des valeurs de différence de couleur <1,5 mais celles-ci peuvent varier selon le client et le but du produit. Par exemple, si le produit fait partie d'une collection de marque de sport, les tolérances sont généralement très strictes avec des valeurs de différence de couleur <0,8 (bien en deça de ce que l'oeil humain peut perçevoir comme différence), alors que pour les articles de mode, les limites sont beaucoup plus détendues atteignant parfois des valeurs de différence de couleur dans la mesure de 2 unités.

Figure 7. Système Pantone™ pour les matériaux textiles (avec l'aimable autorisation de Pantone)

Les spectrphotomètres à réflectance sont des instruments plus coûteux et ils produisent des valeurs de réflectance spectral en plus des coordonnées de couleur produites par les colorimètres. Les valeurs de réflectance peuvent être utilisées par le producteur dans un système informatisé de prediction de correspondence de recette pour obtenir une recette de teinture pour le produit. Généralement, ces valeurs décrivent la couleur avec une meilleure précision et sont plus polyvalentes.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les valeurs de réflectance sont rares dans la plupart des pratiques commerciales, mais elles sont utilisées dans les spécifications techniques militaries et gouvernementales sous la forme de tableaux placés en annexe.

Figure 8. Colorimètre portable (avec l'aimable authorisation de X-Rite)

Figure 9. Spectrophotomètre de réflectance de paillasse (avec l'aimable authorisation de Datacolor international)

3.3. Propriétés fonctionnelles

Les propriétés fonctionnelles sont des caractéristiques spécifiques souhaitées du produit textile ou vestimentaire. Ces propriétés sont généralement liées à des finitions spéciales. Certains exemples sont:

- Adoucissement
- Hydrofuge
- Anti-mites
- Ignifugation
- Propriétés anti-tâches
- Propriétés anti-bactériennes

Les propriétés fonctionnelles sont très spécifiques et sont exigées en fonction de la destination finale du vêtement. Les articles simples comme les T-shirts ou les jeans ont rarement des propriétés

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

fonctionnelles. D'autre part, les vestes de randonnée ont un ensemble de propriétés fonctionnelles qui doivent être décrites et évaluées de manière objective. Les propriétés des produits spécialisés vont de pair avec une bonne connaissance de la technologie et des méthodes standard permettant d'évaluer leurs propriétés. Cela signifie qu'il est presque impossible d'exiger une certaine propriété sur les caractéristiques techniques s'il n'y a pas de méthode standard pour la mesurer et juger de sa conformité.

Figure 10. Tissu textile aux propriétés hydrofuges testé avec une machine de laboratoire standard pour les tests de pulverisation (avec l'aimable authorisation de James Hill)

Heureusement pour les propriétés fonctionnelles les plus courantes, il existe des normes ISO pour tester et définir un certain classement dans les spécifications techniques. Ces tests nécessitent la réalisation d'un équipement spécial, de sorte que les propriétés fonctionnelles soient généralement évaluées dans les laboratories spécialisés.

Si la propriété est très nouvelle ou très spécifique pour un client en particulier, une méthode peut être développée en interne pour l'évaluer. Cette situation bien qu'elle soit rare, peut survenir dans le cas des grandes marques de renommée internationale.

4. Santé et sécurité du produit / Exigences légales / Durabilité

La santé et la sécurité, au même titre que les obligations légales inhérentes aux propriétés du produit étaient peu communes, il y' a quelques années. Aujourd'hui, ces aspects ont gagné en importance, surtout pour les produits à destination du marché de l'UE.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La première exigence de qualité relevant des textiles porte sur l'absence de certaines catégories de colorants, principalement des colorants réactifs, chimiquement basés sur des structures azoiques qui peuvent potentiellement se transformer en amine cancérigène. Cette exigence a conduit à un ensemble de tests chimiques qui peuvent fournir le cerficat Azo FREE pour les textiles. Cette te exigence a également été rendue obligatoire pour les importations de l'UE. En effet les clients de l'UE exigent dans les paragraphes légaux des spécifications techniques que les textiles ne soient pas azoiques. La certification "azo free" ne pouvant être réalisée en interne, est fournie par un laboratoire accrédité.

Au même titre, plus récemment, la législation REACH-ECHA de l'Agence Européenne des produits chimiques [6] a restreint l'utilisation et la circulation dans l'UE de produits importés contenant ce type de substances. C'est le cas pour les textiles qui ne devraient pas avoir de traces des ces produits chimiques. La législation REACH porte sur les colorants, les finitions et les autres produits utilisés principalement dans les procédés humides des textiles à travers le monde. Il est donc de la responsabilité des producteurs d'utiliser des produits chimiques conformes à REACH, pour éviter d'avoir des résidus de produits chimiques restreins sur leurs produits, s'ils souhaitent exporter vers l'UE. De même pour "azo-free", le client exige la conformité REACH sur les spécifications techniques, laquelle est évaluée par des laboratories accrédités. Le certificat est inclus dans les documents légaux et commerciaux du produit comme les factures proforma.

Figure 11. La marque de conformité REACH ECHA (Source: ECHA)

Par ailleurs, il existe des certificats ou des demandes qui ne sont pas légalement obligatoires, mais plutôt exigés par le client pour des raisons de gestion ou de marketing. C'est le cas pour les certifications de management de qualité totale (MQT) qui sont exigées la plupart du temps par le client conformément à une norme de la famille ISO 900X. C'est le cas également pour les exigences de commercialisation ou de marketing qui exigent un étiquetage pour des questions liées à l'écologie ou la durabilité. L'étiquetage écologique est généralement soit l'Oeko Tex ™ ou l'éco-label UE. Ces étiquettes pour le produit sont fournies après avoir soumis le produit à une série de tests effectués par des laboratoires spécialisés et accrédités. Cette accréditation en ce qu'elle coût chère, n'est pas appliquée pour les articles de modes ou les petites séries, mais plutôt pour les grandes productions homogènes lorsque le coût est justifié.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Figure 12. La marque Oeko Tex ™ [Source: Oeko Tex]

La durabilité de la production et les pratiques de travail équitables sont actuellement d'une grande importance et il est attendu qu'elles jouent un rôle plus significatif à l'avenir. Des systèmes d'étiquetage similaires à Oeko-Tex ont été développés pour résoudre ces problèmes. Même si actuellement, ces systèmes à l'image du badge coton biologique ou la certification de commerce équitable sont volontaires, il est attendu qu'elles acquièrent plus d'importance avec le temps pour s'adapter à l'évolution du comportement des consommateurs.

5. Résumé des aspects d'élaboration des caractéristiques techniques pour les produits textiles et d'habillement

La qualité d'un produit textile, dépend plus ou moins du degré auquel ce produit répond ou dépasse les attentes declarées ou impliictes du client, telles ça a été analysé ci-dessus. Les produits textiles sont actuellement fabriqués dans le monde entier, faisant en sorte que les clients ont besoin de communiquer ces attentes particulières au producteur. De plus, le client est soumis à des restrictions légales relatives aux lois régissant les importations. A ce titre, le cahier des charges est le document clé qui permet de cartographier les demandes et attentes précitées. Toutefois, rédiger un document qui décrit les caractéristiques techniques d'un produit est une tâche difficile. C'est à cet effet, qu'il est conseillé pour les entreprises qui ne l'ont pas fait de commencer à créer de tels documents pour les produits les plus simples et les moins exigeants comme les pantaloons ou les T-shirts. Par ailleurs, avoir en main certaines spécifications techniques émanant des grandes marques ou du gouvernement pourrait être bénéfique pour les entreprises, en leur fournissant une structure de base. Les catégories de qualité analysées dans ce document sont également un bon point de départ. Une fois le document de spécification technique est crée pour un produit simple, il est possible de conserver ce format comme modèle et l'enrichir pour décrire des produits plus complexes.

L'analyse des exigences de qualité telle que réalisée dans le cadre de ce chapitre a montré que la creation de spécifications techniques est une tâche multidisciplinaire. Elle doit faire appel à un techicien en textile doté d'une bonne connaissance des matériaux et des procédés, notamment ceux relatifs aux procédés humides. Ce dernier doit également disposer d'une bonne vue d'ensemble des normes pertinentes décrivant les propriétés souhaitées. Par ailleurs, une collaboration entre la

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

production et les concepteurs s'avère nécessaire pour l'élaboration des documents de spécifications techniques. Il est également de nécessaire de suivre l'évolution constante de l'environnement juridique en matière de normes et de certifications.

Le principal avantage des caractéristiques techniques, consiste à instaurer une bonne communication entre le client et le producteur favourable à une coopération juste et objective. Les caractéristiques techniques devraient être réalistes afin de cartographier des attentes qui soient logiques sans être extrêmes car parfois impossibles à obtenir ou bien encore susceptibles d'augmenter considérablement le coût du produit.

Références

[1] P.V. Mehta, S.K. Bhardwaj, *Managing Quality in the Apparel Industry,* p.5, India, New Age International Ltd Publishers*,* 1998.

[2] A.R. Roach, "Meeting Consumer Needs for Textiles and Clothing"*, The Journal of the Textile Institute*, 85:4, pp. 484-495, 1994.

[3] K. Niinimäki, L. Hassi, "Emerging design strategies in sustainable production and consumption of textiles and clothing", *Journal of Cleaner Production*, Volume 19, Issue 16, pp. 1876-1883. 2011.

[4] ISO 9000:2015 (en) *Quality management systems — Fundamentals and vocabulary.* [Online]. Disponible sur : https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:en [Consulté : Avril.10, 2021].

[5] NSPA APPLICATIONS EPORTAL. *Flame Retardant Maritime Jackets*. NATO. [Online]. Disponible sur : https://eportal.nspa.nato.int [Consulté : Mai.15, 2021].

[6] Reach. *Understanding REACH.* ECHA. [Online]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/el/regulations/reach/understanding-reach [Consulté : Mai.12, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions d'évaluation du cours

Question 1 : Parmi les parties prenantes qui interviennent pour définir les exigences de qualité figurent :

Veuillez choisir une seule réponse correcte parmi les propositions ci-dessous:

a) Le gouvernement - le client – L'organisation
b) L'UE – le technicien en textile – le client final
c) Le client – les organismes internationaux – la production

Question 2 : Les certifications environnementales telles qu'Oeko Tex ™ sont :

Veuillez choisir une seule réponse correcte parmi les propositions ci-dessous:

a) Volontaires sauf indication contraire du client
b) Obligatoires pour les produits importés dans l'UE
c) Toujours volontaires.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 3.2. La Science des couleurs et la communication et le contrôle objectifs de la couleur

A. A. Tsoutseos
UNIWA

1. Résumé et objectifs de cette unité d'apprentissage

La science des couleurs ou la colorimétrie est un domaine scientifique multidisciplinaire qui étudie la perception humaine de la couleur avec une interprétation computationnel, les matériaux qui confèrent des propriétés de couleur, l'optique et la physique de la radiation électromagnétique du domaine visible [1]. Cette unité d'apprentissage présente une introduction à la perception des couleurs avec un accent particulier sur son expression numérique objective. Ensuite, l'expression de la différence de couleur sera analysée avec son application aux aspects spécifiques techniques et du contrôle de la qualité des textiles.

2. Introduction à la science des couleurs

La couleur est une caractéristique de la perception visuelle humaine, alors que l'Homme avec une vision moyenne décrit les objets observés avec des noms distincts comme rouge, orange, jaune, vert, bleu et violet.

Pour les matériaux comme les textiles, pour avoir une perception des couleurs, il est nécessaire d'avoir trois facteurs contributifs, à savoir :

- Une source lumineuse
- La matière colorée
- L'observateur humain

Bien entendu, il existe également le cas où la couleur est générée directement à partir d'une source lumineuse, comme ce que se produit dans les écrans d'ordinateur, par exemple, et dans ce cas la source lumineuse coïncide avec l'objet. Cependant, pour les matériaux comme les textiles, la perception des couleurs dépend des trois facteurs contributifs décrits ci-dessus.

La perception des couleurs dépend d'un ensemble de paramètres, impliquant le rayonnement électromagnétique, son interaction avec les matériaux et l'œil humain ainsi que l'interprétation des signaux générés par l'œil dans le cerveau humain. Par conséquent, la

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

science des couleurs se compose de diverses disciplines ou concepts qui traitent la perception des couleurs. Citons à titre d'exemple [2] :

- Concepts physiques et chimiques
- Concepts physiologiques
- Concepts psychologiques
- Interprétations numériques et mathématiques

3. Concepts physiques et chimiques

D'un point de vue physique, la science des couleurs s'effectue en analysant l'interaction de la lumière avec la matière. La lumière (ou la lumière visible) est une petite plage du spectre de rayonnement électromagnétique qui peut être perçue par l'œil humain [3]. Il est généralement admis que la lumière visible a des longueurs d'onde variant entre 400 et 700 nm. En dessous de cette plage se trouve le spectre UV (ultraviolet) et au-dessus de cette plage se trouve le spectre IR (infrarouge). Les UV et les infrarouges sont tous les deux invisibles pour l'observateur humain, bien que les UV puissent être remarqués à travers leur interaction avec des matériaux fluorescents et que les infrarouges puissent être ressentis sous forme de chaleur.

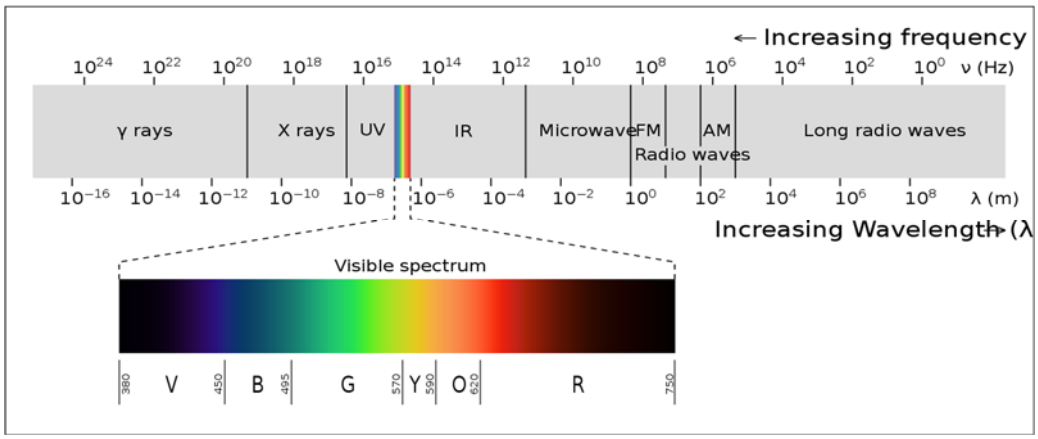


Figure 1. Le spectre visible [CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2521356]

La lumière dans sa nature est produite par le soleil et dans les environnements humains par des sources lumineuses artificielles. Les sources lumineuses sont caractérisées par leur distribution de la puissance spectrale (DPS) dans le domaine visible du spectre. La DPS décrit la puissance par unité de surface de chaque longueur d'onde de lumière produite [5]. Dans la science de couleurs, les sources lumineuses sont normalisées via des organisations comme la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) en utilisant leur DPS. Cela se produit parce que la réponse visuelle humaine s'intègre sur toutes les longueurs d'onde et que la

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

distribution de la puissance spectrale relative fournira des informations sur la modélisation de l'apparence des couleurs. En effet, la concentration de la ou des bandes de longueurs d'onde deviendra les principaux contributeurs à la couleur perçue. [6]

Lorsque la lumière visible tombe sur un objet coloré, une interaction, décrite par l'optique et la physique en général, se produit. Plus précisément, pour les textiles, une fraction relativement faible sera réfléchie par la surface et le reste sera absorbé et dispersé à l'intérieur du matériau. Les propriétés d'absorption et de diffusion sont déterminées en fonction de la structure de la fibre et du tissu ainsi que des colorants utilisés pour teindre le matériau.

Les colorants (ou additifs colorants tels que décrits dans l'industrie alimentaire) sont des substances ajoutées ou appliquées aux matériaux afin de changer leur couleur. Les colorants ont la propriété d'absorber, généralement sélective, la gamme du spectre lumineux, de transmettre ou de refléter le reste. Pour les applications textiles, les colorants sont classés en colorants ou pigments. Cette classification permet de déterminer la méthode d'application pour chaque classe.

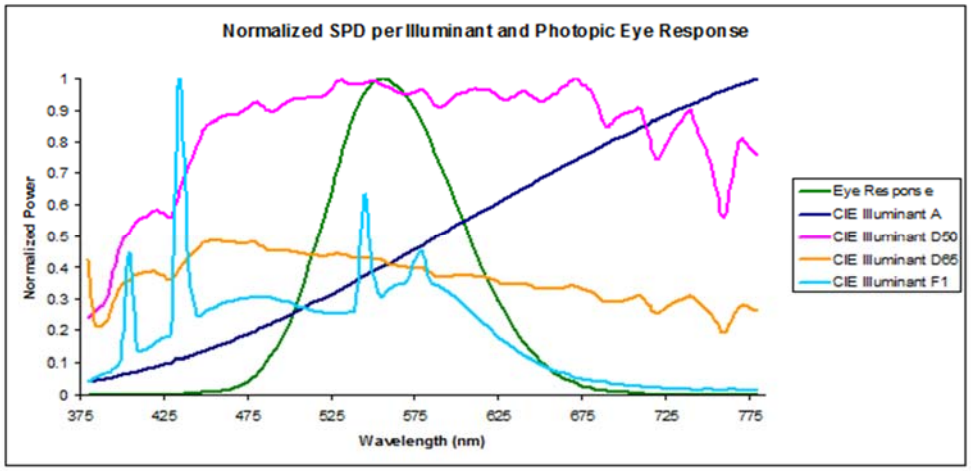


Figure 2 DSP normalisée sur le spectre visuel des illuminants CIE et la réponse visuelle photopique à titre de référence [Source : Wikipedia commons]

Les colorants sont généralement considérés comme des molécules chimiques qui seront préparés dans des solutions aqueuses pour leur application sur des substrats. Les pigments, d'autre part, sont typiquement des particules solides qui sont généralement en suspension dans un liquide véhiculeur.

Dans les matières textiles, les colorants sont appliqués via les méthodes de teinture conventionnelles de l'industrie, où les pigments sont soit incorporés dans les fibres synthétiques, soit appliqués via des méthodes d'impression. A cause de leur forme physique, les colorants pénètrent le plus souvent uniformément dans le matériau pendant le processus

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

de teinture, tandis que les pigments sont liés à la surface du matériau via des additifs appelés liants.

Au niveau physico-chimique, les colorants et les pigments ont la capacité d'absorber sélectivement certaines longueurs d'onde de la lumière visible qui interagit avec eux, tout en laissant les autres longueurs d'onde inchangées. Les longueurs d'onde non modifiées sont généralement réfléchies par le matériau via un processus de diffusion de la lumière et atteignent ensuite l'observateur, engendrant la sensation de couleur.

Le caractère d'absorption sélective des colorants et des pigments, au niveau moléculaire, s'explique par la théorie moderne de la structure électronique qui stipule que la couleur des colorants est due à l'excitation des électrons de valence par la lumière visible [4].

Tableau 1. Longueurs d'onde absorbées en fonction de la perception des couleurs

Longueur d'onde (nm)	Couleur de la lumière absorbée	Couleur de la lumière observée
400 – 420	violet	Vert – Jaune clair
420 – 450	violet - Bleu	Jaune
450 – 480	Bleu	Orange
490 – 510	Bleu - vert	Rouge
510 – 530	vert	Magenta
530 – 545	Vert- Jaune clair	violet
545 – 580	Jaune	violet - Bleu
580 – 630	Orange	Bleu
630 – 720	Rouge	Bleu - vert

En pratique, une concentration importante de molécules de couleur dans un substrat engendre une plus grande interaction avec la lumière, donc une coloration intense, en général.

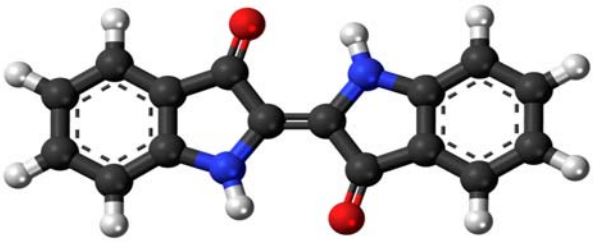


Figure 3. Modèle moléculaire boule-bâtonnet de colorant indigo, un colorant historiquement très utilisé dans les jeans bleus (Carbon, C : noir, Hydrogène, H : blanc, Oxygène, O : rouge, Azote, N : bleu) [Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Indigo_dye_3D_ball.png]

L'interaction lumineuse avec un matériau coloré peut être évaluée, en utilisant un spectrophotomètre à réflectance qui mesure pratiquement le rapport de l'intensité

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

lumineuse réfléchie par rapport à l'intensité lumineuse incidente à chaque longueur d'onde du spectre visible. Un ensemble de courbes typiques de réflectance est illustré à la figure 4.

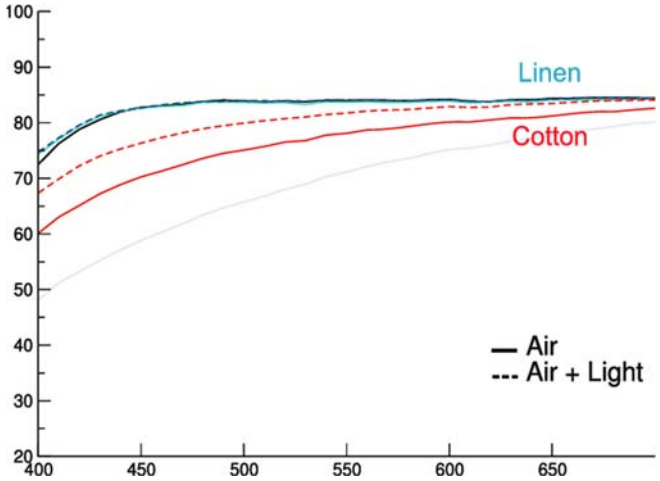


Figure 4. Courbes typiques de réflectance pour le coton et le lin [Source : https://www.researchgate.net/figure/Reflectance-spectra-of-undyed-cotton-and-linen-textiles-before-Reference-gray-and-black_fig6_269995691]

Le spectre de réflectance est plus ou moins l'« empreinte digitale » de la couleur apparente d'un matériau opaque, comme le textile. La couleur qui sera perçue dépend bien sûr des autres membres de la triade, comme l'observateur et la source lumineuse, mais l'apport matériel est caractérisé par sa réflectance.

Figure 5. Spectrophotomètre de réflectance de paillasse typique [Source : Datacolour]

4. Concepts physiologique

La troisième partie de la triade de perception des couleurs est l'observateur humain. La perception des couleurs fait partie du système visuel plus large et est médiatisée par un processus complexe entre les neurones qui commence par une stimulation différentielle de

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

différents types de photorécepteurs par la lumière entrant dans l'œil [7]. Ces photorécepteurs émettent ensuite des sorties qui se propagent à travers de nombreuses couches de neurones, puis finalement jusqu'au cerveau. La perception de la couleur commence par des cellules rétiniennes spécialisées appelées cellules coniques.

Les cellules des cônes contiennent différentes formes d'opsine - une protéine pigmentaire - qui ont des sensibilités spectrales différentes. Les humains contiennent trois types engendrant une vision trichromique des couleurs. Une gamme de longueurs d'onde de la lumière stimule chacun type de ces récepteurs à des degrés divers. Le cerveau combine les informations de chaque type de récepteur pour donner lieu à des différentes perceptions des différentes longueurs d'onde de la lumière.

L'œil contient également des bâtonnets qui sont inactifs dans une lumière relativement vive, donc ne contribuent pas à la vision des couleurs, mais fonctionnent plutôt pendant la nuit pour donner une vision scotopique.

Les cellules coniques sont condensées dans la fovéa : une zone sans tige de 0,3 mm de diamètre avec des cônes très minces et condensés dont le nombre diminue rapidement sur la voie de la périphérie de la rétine. Au contraire, ils sont absents de la papille optique, engendrant la tâche aveugle. Il y a environ six à sept millions de cônes dans l'œil humain et sont plus concentrés vers la macula. [8] Les cônes sont normalement l'un de ces trois types, chacun avec un pigment différent, à savoir : les cônes S, les cônes M et les cônes L. Chaque cône est donc sensible aux longueurs d'onde visibles de la lumière qui correspondent à la lumière de courte longueur d'onde, de moyenne longueur d'onde et de longue longueur d'onde.

Tableau 2. Réponse maximale de cônes en fonction de longueurs d'onde

Type de Cone	Nom	Intervalle	Longueur d'onde maximale
S	β	400–500 nm	420–440 nm
M	γ	450–630 nm	534–555 nm
L	ρ	500–700 nm	564–580 nm

Le daltonisme (déficience de la vision des couleurs) est la diminution de la capacité à voir la couleur ou les différences de couleur. Cela peut détruire le fonctionnement tel que la sélection de fruits mûrs, le choix de vêtements et la lecture des feux de circulation. La cause la plus courante de daltonisme est un problème héréditaire dans le développement d'un ou plusieurs des trois ensembles de cellules coniques des yeux. Chez les êtres humains, les hommes sont plus susceptibles d'être daltoniens que les femmes, car les gènes responsables des formes les plus courantes de daltonisme se trouvent sur le chromosome X. Les femelles ont deux chromosomes X, donc un défaut dans l'un est généralement compensé par l'autre.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

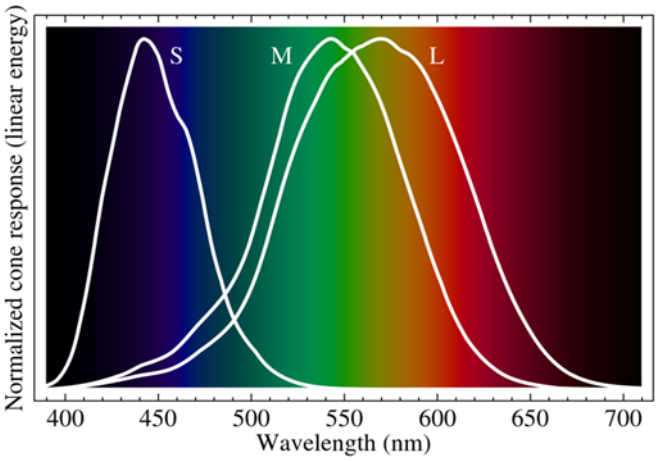


Figure 6. Spectres de réponse normalisés de cônes humains, à des stimuli spectraux monochromatiques, avec une longueur d'onde donnée en nanomètres. [Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cone-fundamentals-with-srgb-spectrum.svg]

Le daltonisme rouge-vert est la forme la plus courante, suivi du daltonisme bleu-jaune et du daltonisme total. Le daltonisme rouge-vert affecte jusqu'à 8 % des hommes et 0,5 % des femmes d'origine nord-européenne [9].

Bien qu'environ 10 % de la population ait une forme de perception des couleurs, puisqu'elle est génétique, on peut supposer que les 90 % restants ont une vision des couleurs normale. Cette vision normale des couleurs peut être exprimée mathématiquement selon les fonctions de correspondance des couleurs de l'observateur standard de la CIE, comme illustré à la figure 7.

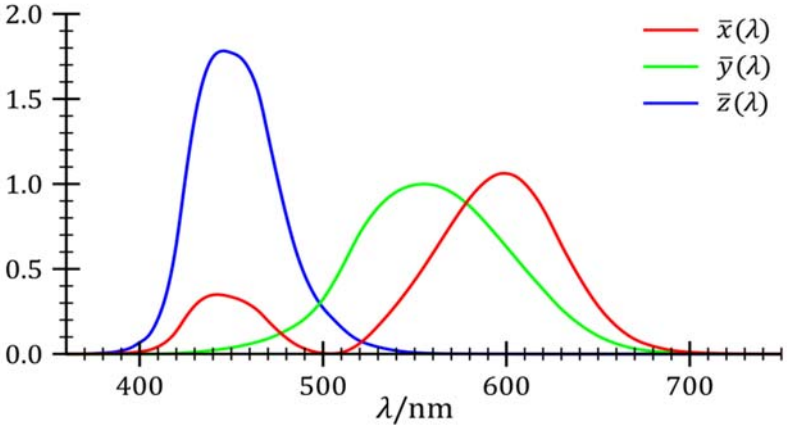


Figure 7. Fonctions de correspondance des couleurs de l'observateur standard de la CIE XYZ [Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIE_1931_XYZ_Colour_Matching_Functions.svg]

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

5. Concepts psychologiques

Lorsque la lumière pénètre dans les yeux, les cônes produisent un signal qui se déplace vers le cerveau. C'est dans le cerveau que ces signaux sont traduits en sensations colorées. En 1801, Thomas Young proposa sa théorie trichromatique, basée sur l'observation que n'importe quelle couleur pouvait être associée à une combinaison de trois lumières. Cette théorie a ensuite été affinée par James Clerk Maxwell et Hermann Von Helmholtz. En même temps que Helmholtz, Ewald Hering a développé la théorie des processus antagoniques de la vision de la couleur, notant que le daltonisme et les images rémanentes se présentent généralement par paires opposées (rouge-vert, bleu-orange, jaune-violet et noir-blanc). Finalement, ces deux théories ont été synthétisées en 1957 par Hurvich et Jameson, qui ont montré que le traitement rétinien correspond à la théorie trichromatique, tandis que le traitement au niveau du noyau genouillé latéral correspond à la théorie antagonique [10].

En pratique, le cerveau procède à une classification de la couleur observée le caractérisant selon les paramètres suivants :

• Teinte : est l'attribut d'une sensation visuelle selon laquelle une zone apparaît comme similaire à l'une des couleurs perçues : rouge, jaune, vert et bleu, ou à une combinaison de deux d'entre elles.

• Luminosité : est la luminosité par rapport à la luminosité d'un blanc éclairé de manière similaire.

• Chromaticité (ou saturation) : est l'attribut d'une sensation visuelle selon lequel la couleur perçue d'une zone apparaît plus ou moins chromatique ou saturée.

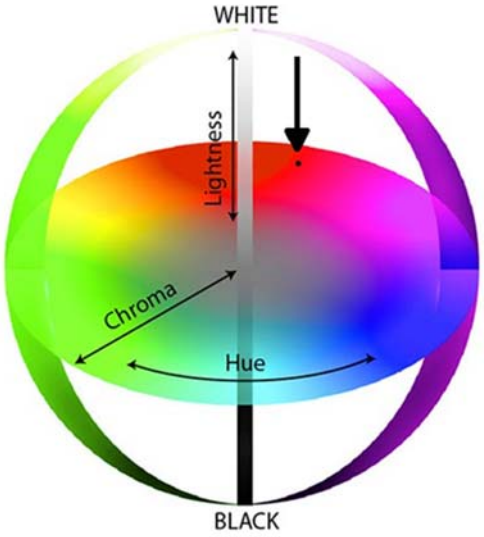


Figure 8. Teinte - Luminosité - Saturation [Source : toyoink : Gravure Ink]

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

C’est un aspect important de la perception des couleurs. Sa compréhension est la base de la création d'espaces chromatiques mathématiques et des échantillons des couleurs de base permettant la représentation objective de la perception des couleurs.
Actuellement, il existe plusieurs études sur la perception des couleurs qui examinent le rôle du cerveau dans la compréhension des couleurs. Ces études vérifient le rôle du cerveau dans la perception des couleurs du fait que le cerveau compare constamment les couleurs observées avec l'environnement pour ajuster la perception. Plusieurs illusions d'optique ont été dérivées de la vérification de ces conditions limites qui indiquent que la vision des couleurs est difficile à exprimer de manière absolument objective.

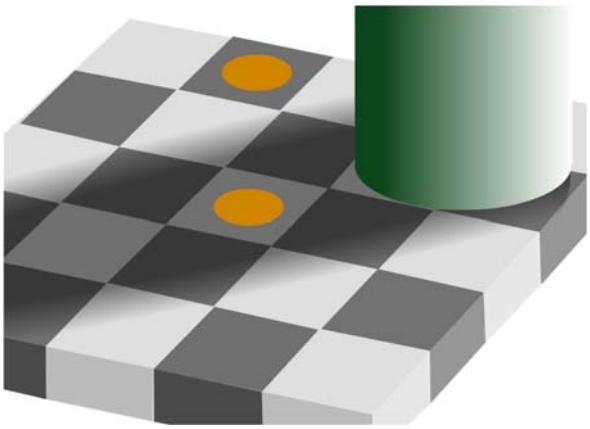


Figure 9. L'illusion d'optique de l'ombre en damier où le disque supérieur et le disque inférieur ont exactement la même couleur objective et sont dans un environnement gris identique ; en fonction des différences de contexte, les humains perçoivent les carrés comme étant une réflectance différente et peuvent interpréter les couleurs comme des catégories de couleurs différentes. [Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File : Optical_grey_squares_orange_brown.svg]

6. Interprétations numériques et mathématiques - Établissement d'espaces colorimétriques

En résumant les concepts analysés dans les paragraphes précédents, la perception des couleurs de l'observateur moyen peut être exprimée objectivement via l'expression objective correspondante de la source lumineuse, du matériau coloré et de la réponse de l'observateur. Les sources lumineuses sont exprimées via les fonctions DSP, la matière colorée est exprimée via ses valeurs de réflectance et l'observateur par les fonctions de l’observateur de référence de la CIE. La combinaison mathématique de ces trois éléments aboutit à la représentation du stimulus de couleur dans un espace tridimensionnel appelé espace de couleur. Les mathématiques de cette combinaison sortent du cadre de cette revue. Ce qui est significatif, c'est que la sensation de couleur peut être décrite par un

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l’auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l’utilisation qui pourrait être faite des informations qu’elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ensemble de trois coordonnées appelées valeurs tristimulus. Une représentation graphique d'un espace colorimétrique est illustrée à la figure 12.

Les expressions initiales de l'espace colorimétrique étaient importantes pour la représentation numérique du stimulus de couleur. Cependant, il y avait une exigence supplémentaire selon laquelle l'espace colorimétrique devrait être optiquement uniforme afin que les coordonnées de couleur puissent être utilisées dans des applications pratiques où la distance entre deux couleurs peut représenter la différence de couleur analogue perçue. Un espace colorimétrique uniforme est essentiel pour le contrôle de la qualité des couleurs et l'établissement de tolérances de couleur dans la production, entre autres.

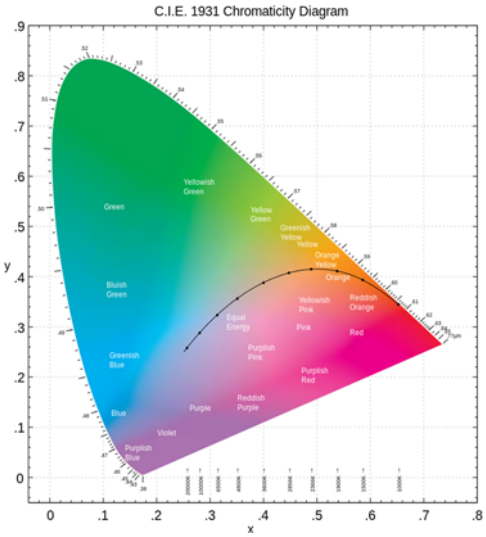


Figure 10. Le diagramme de chromaticité de l'espace colorimétrique CIE 1931 [Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIE-1931_diagram_in_LAB_space.svg]

Le diagramme est rendu en termes de couleurs de saturation et de valeur inférieures à celles affichées dans le diagramme ci-dessus qui peuvent être produites par des pigments, tels que ceux utilisés dans l'impression. Les noms de couleurs proviennent du système de couleurs Munsell. La courbe continue avec des points au dessus, au milieu, est le locus Planckien, avec les points qui correspondent à quelques températures sélectionnées du corps noir qui sont indiquées juste au-dessus de l'axe des x.

L'espace colorimétrique le plus accepté et utilisé est le CIEL*a*b* (1976) qui est exprimé par les coordonnées colorimétriques tridimensionnelles suivantes :

L* - exprimant la variation de la luminosité

a* - exprimant la variation rouge - verte

b* - exprimant la variation jaune – bleu

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'espace colorimétrique CIEL*a*b* est basé sur la théorie de la perception des couleurs opposantes décrites dans les paragraphes précédents. Il est conçu de telle manière qu'une unité de distance représente la différence de couleur juste perceptible de l'observateur moyen, bien qu'il soit pratiquement prouvé plus tard que la différence de couleur juste perceptible est d'environ 2,3 unités. La distance de deux couleurs dans l'espace de couleur s'exprime via l'équation ΔE* qui correspond à la distance euclidienne :

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

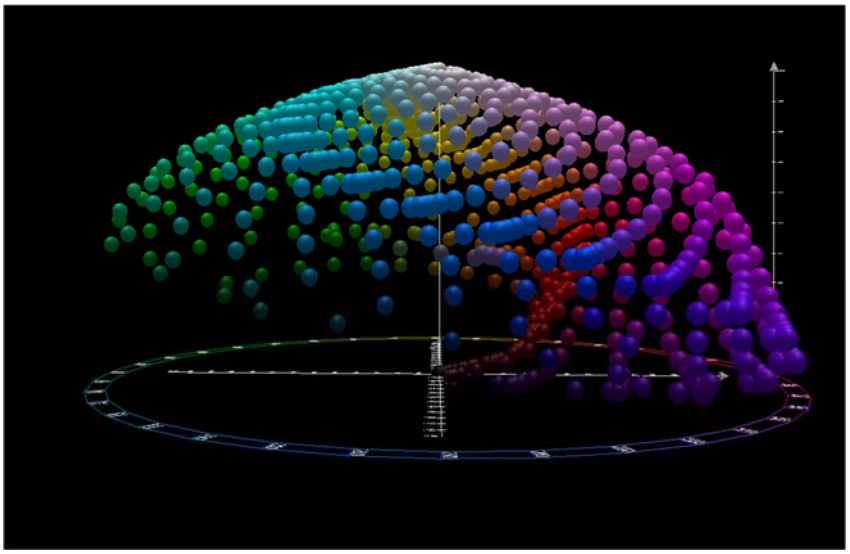


Figure 11. Vue de face de l'espace colorimétrique CIEL*a*b* [Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIELAB_colour_space_front_view.png]

L'établissement d'une équation de différence de couleur basée sur un espace de couleur uniforme généralement optique a été une percée majeure dans l'application de la science des couleurs. L'équation de différence de couleur a permis de spécifier des tolérances objectives et les décisions de réussite/échec du contrôle qualité sans ambiguïté [11].

L'expression de l'espace colorimétrique via les coordonnées L*, a* et b* n'a pas de relation entre les coordonnées et la classification cérébrale des couleurs comme cela a été expliqué dans les aspects psychologiques de la couleur. Pour activer cette relation, l'espace colorimétrique peut également être exprimé par des coordonnées polaires via les équations suivantes :

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

$$h_{ab} = atan2(b^* a^*) \quad (3)$$

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cela permet l'expression équivalente de l'espace colorimétrique CIEL*a*b* avec les coordonnées polaires comme CIEL*C*h. Les valeurs dérivées correspondent à la catégorisation des couleurs comme suit :

- L* - luminosité
- C* - chroma (saturation)
- h - angle de teinte

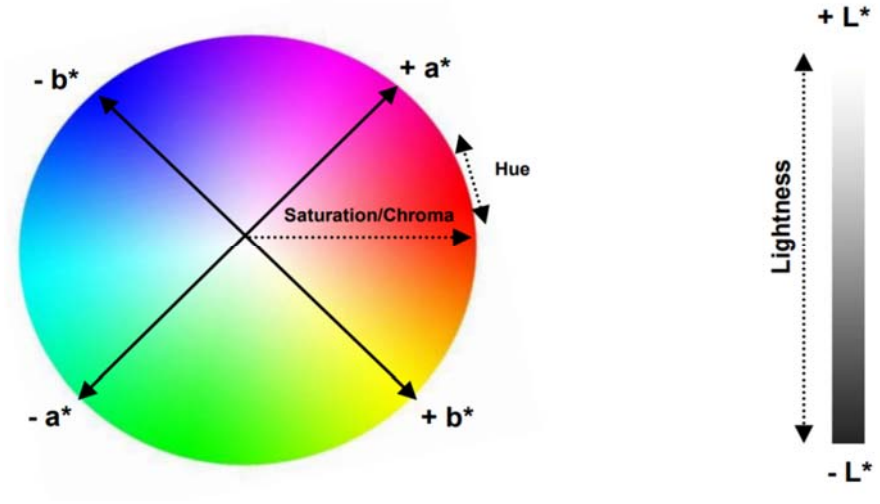


Figure 12. Représentations de la chromaticité (C*) et de la teinte (h) sur l'espace colorimétrique CIEL*a*b*

7. Équations de différence de couleur

L'établissement d'espaces colorimétriques et d'équations de différence de couleur a été une percée majeure dans la science des couleurs. Il convient de noter que pendant des années, les principaux développements de la science des couleurs ont été réalisés par la recherche relative à l'industrie de la teinture textile qui avait un grand intérêt à établir un contrôle de qualité objectif et une spécification des couleurs. De plus, l'industrie textile s'intéressait beaucoup au développement de méthodes mathématiques de prédiction des correspondances de recettes, ce qui constitue une autre partie de la science des couleurs. Au cours des dernières années, bien sûr, la science des couleurs s'est développée dans diverses autres industries et applications telles que les plastiques, les peintures, l'automobile et l'imagerie numérique pour nommer quelques-uns.

De nouvelles demandes, dues aux applications susmentionnées, ainsi que des spécifications plus strictes ont exigé de meilleures équations de différence de couleur spécifiques à des industries particulières et avec une précision améliorée sur les décisions de conformité /non-conformité.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

7.1. CIE94

La définition de 1976 a été étendue pour traiter les non-uniformités perceptuelles, tout en conservant l'espace colorimétrique CIEL*a*b*, par l'introduction de poids d'applications spécifiques dérivés des données de tolérance d'un test de peinture automobile [12]. ΔE (1994) est défini dans l'espace colorimétrique L*C*h* avec des différences de luminosité, de chromaticité et de teinte calculées à partir des coordonnées L*a*b* pour 2 échantillons indiqués par 1 et 2 dans les équations suivantes:

$$\Delta E^*_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{k_H S_H}\right)^2} \quad (4)$$

Où

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2 \quad (5)$$

$$C^*_1 = \sqrt{a^{*2}_1 + b^{*2}_1} \quad (6)$$

$$C^*_2 = \sqrt{a^{*2}_2 + b^{*2}_2} \quad (7)$$

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_1 - C^*_2 \quad (8)$$

$$\Delta H^*_{ab} = \sqrt{\Delta E^{*}_{ab}{}^2 - \Delta L^{*2} - \Delta C^{*}_{ab}{}^2} = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} - \Delta C^2_{ab}} \quad (9)$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2 \quad (10)$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2 \quad (11)$$

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + K_1 C^*_1 \quad (12)$$

$$S_H = 1 + K_2 C^*_1 \quad (13)$$

Et avec k_C et k_H sont généralement l'unité et le poids des facteurs k_L, K_1 and K_2 dépendent de l'application (voir tableau 3).

Tableau 3. Poids des facteurs de l'équation de différence de couleur CIE94

	Oeuvres Graphiques	Textiles
k_L	1	2
K_1	0.045	0.048
K_2	0.015	0.014

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

7.2. CIEDE2000

Étant donné que la définition de 1994 n'a pas résolu de manière adéquate le problème de l'uniformité de la perception, la CIE a affiné sa définition en ajoutant cinq corrections :

- ✓ Un terme de rotation de teinte (RT), pour traiter la problématique de la zone bleue (angles de teinte aux alentours de 275°)
- ✓ Compensation pour les couleurs neutres (les valeurs amorcées dans les différences L*C*h)
- ✓ Compensation de la luminosité (SL)
- ✓ Compensation de la chromaticité (SC)
- ✓ Compensation de teinte (SH)

L'approfondissement des mathématiques sort du cadre de ce travail. L'équation s'exprime comme suit:

$$\Delta E^*_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C}\frac{\Delta H'}{k_H S_H}} \qquad (14)$$

7.3. CMC l:c (1984)

En 1984, le Comité de Mesure de Couleurs (Colour measurement committee CMC) de la société des teinturiers et de coloristes (Society of Dyers and Colourists) a défini une mesure de différence, également basée sur le modèle de couleur L*C*h. Nommé d'après le comité de développement, leur métrique est appelée CMC l:c. La quasi-métrique a deux paramètres : la luminosité (L) et la chromaticité (c), permettant aux utilisateurs de déterminer la différence en fonction du rapport l:c qui est jugé approprié pour l'application. Les valeurs couramment utilisées sont 2:1 pour l'acceptation et 1:1 pour le seuil d'imperceptibilité. L'expression de l'équation CMC l:c est la suivante :

$$\Delta E^*_{CMC} = \sqrt{\left(\frac{L^*_2 - L^*_1}{l S_L}\right)^2 + \left(\frac{C^*_2 - C^*_1}{c S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{S_H}\right)^2} \qquad (15)$$

Avec:

$$S_L = \begin{cases} 0.511 & L^*_1 < 16 \\ \frac{0.040975 L^*_1}{1+0.01765 L^*_1} & L^*_1 \geq 16 \end{cases} \quad S_C = \frac{0.0638 C^*_1}{1 + 0.0131 C^*_1} + 0.638 \quad S_H = S_C(FT + 1 - F) \qquad (16)$$

$$F = \sqrt{\frac{C^{*4}_1}{C^{*4}_1 + 1900}} \quad T = \begin{cases} 0.56 + |0.2\cos(h_1 + 168°)| & 164° \leq h_1 \leq 345° \\ 0.36 + |0.4\cos(h_1 + 35°)| & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (17)$$

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

8. Application des aspects de la science des couleurs aux textiles

La science de colours a deux piliers d'application majeurs dans les industries du textile et de l'habillement. Le premier pilier concerne la prédiction de correspondance de recette pour la teinture des supports. Cet aspect est assez compliqué théoriquement mais pour l'utilisateur final les complexités sont cachées derrière le logiciel spécifique utilisé.

Le deuxième pilier est la communication des couleurs et les spécifications techniques. Le développement d'espaces colorimétriques assez homogènes permet de caractériser la perception des couleurs d'un échantillon donné via ses coordonnées trichromatiques, généralement les valeurs L*a*b*. De plus, s'il est nécessaire de faire une prédiction de correspondance de recette, les valeurs de réflectance d'un échantillon sont très représentatives pour que le logiciel réalise une recette de teinture réussie.

Figure 13. Forme pratique de l'atlas des couleurs PantoneTM [Source : Pantone]

Les spécifications techniques peuvent utiliser les équations de différence de couleur pour établir des décisions de conformité/non-conformité. Pour les textiles, l'équation préférable est CMC 2:1 car elle est bien optimisée pour l'application. Une limite de différence de couleur maximale de 1,5 ΔE_{CMC} est généralement adéquate pour la plupart des applications, sauf indication contraire du client de la teinture.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] Wikipedia. Colour. Wikipedia the Free Encyclopaedia. [Online]. Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Colour [Consulté : Avril 21, 2021].

[2] Color Science. Applied colour science. Color Usage Research Lab. [Online]. Disponible sur : https://colorusage.arc.nasa.gov/colour_concepts_1.php [Consulté : Avril 21, 2021].

[3] CIE. *International Lighting Vocabulary* Archived 27 February 2010 at the Wayback Machine. Number 17.4. CIE, 4th edition. 1987

[4] A. Bafana, S.S. Devi, C. Tapan, "Azo dyes: past, present and the future". *Environmental Reviews*, 19 (NA), pp. 350–371, September 2011

[5] M.D. Fairchild, *Colour Appearance Models*, 3rd edition. John Wiley and Sons, 2013

[6] W.D. Wright, *The Measurement of Colour*. New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1969

[7] Wikipedia. Colour vision. Wikipedia the Free Encyclopaedia. [Online]. Disponible sur :https://en.wikipedia.org/wiki/Colour_vision [Consulté : Avril 21, 2021].

[8] *Rods and cones.* [Online]. Disponible sur : http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/rodcone.html [Consulté : Avril 21, 2021].

[9] Eye Conditions and Diseases. *Colour blindness*. National Eye Institute. [Online]. Disponible sur : https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/colour-blindness[Consulté : Avril 21, 2021].

[10] S.E. Palmer, *Vision Science: Photons to Phenomenology*, Cambridge, USA: MIT Press, 1999.

[11] J. Schanda, *Colourimetry: Understanding the CIE System*. Wiley Interscience, p. 88., 2007. Archived from the original on April 17, 2021.

[12] S. Upton. *Delta E: The Colour Difference*. Colourwiki.com. [Online]. Disponible sur : http://www.colorwiki.com/wiki/Delta_E:_The_Color_Difference [Consulté : Avril 21, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

1. Question 1 : Quels sont les trois facteurs qui contribuent à la perception des couleurs ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) La source lumineuse - l'observateur - l'objet coloré
b) L'observateur - la longueur d'onde - le colorant
c) L'objet coloré- le colorant- la réflectance

2. Question 2 : Le cerveau fait une classification de la couleur observée en la caractérisant selon :

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Teinte - luminosité - chromaticité
b) Saturation - luminosité - chromaticité
c) Source lumineuse - objet - saturation

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 3.3 Gestion et test des couleurs

A. A. Tsoutseos
UNIWA

1. Résumé et objectifs de cette unité d'apprentissage

La gestion de la couleur est liée aux fonctions qu'une entreprise remplit pour gérer les aspects de sa production. Certains aspects de la gestion des couleurs sont liés en général à la science de la couleur et à l'établissement de spécifications techniques analysés sur d'autres parties de cet « e-book ». Cette unité d'apprentissage développera la science des couleurs nécessaire à la communication des couleurs, en incorporant des aspects de l'archivage des couleurs. Il examinera les limites de la vision des couleurs lorsqu'il s'agit des erreurs qui se produisent ainsi que la couleur lui même. Une bonne pratique pour la mesure de la couleur des échantillons sera présentée ainsi que les effets des conditions environnementales sur les couleurs des échantillons d'essai. Enfin, les nouveaux défis de la mesure de la couleur sur les tissus à motifs seront abordés.

2. L'importance de la couleur dans l'industrie du textile et de l'habillement

Chaque entreprise est mise au défi d'obtenir le bon produit, au bon moment devant ses clients. La couleur est une caractéristique importante du produit dans de nombreuses industries, mais son importance pour les produits textiles et les vêtements est exceptionnelle. La couleur et le design sont à la base de la transformation d'un produit de base comme un t-shirt en un article de mode à valeur ajoutée. Son importance a été reconnue très tôt dans la production textile et c'est la raison pour laquelle les développements majeurs qui ont eu lieu dans la science de la couleur ont été appliqué en premier lieu dans les industries textiles et après dans les industries de la peinture et des plastiques. Par la suite, ces développements ont été étendus à d'autres industries, comme l'automobile, l'impression, la photographie et les écrans de télévision…etc. Toutes ces technologies du 21e siècle utilisent des espaces chromatiques et des mathématiques ont été initiés et développés principalement pour l'industrie textile. [1]

Généralement, la couleur joue un rôle important dans la vie de tous les jours. Souvent, il offre une sécurité rendant les choses très visibles. Par exemple, les autobus scolaires aux États-Unis sont colorés en jaune car cette couleur se situe au milieu du spectre visible et elle est toujours très visible même à la périphérie de la vision ainsi que pour les personnes présentant une anomalie de couleur

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

dans la perception. Il existe également des couleurs réglementées comme les panneaux de la circulation ou des couleurs brevetées comme le rouge Coca-Cola. Les gens sont également fiers des couleurs liées à leur drapeau national ou à leur équipe préférée. De cette façon, plusieurs couleurs sont brevetées et liées au merchandising pour les produits pertinents. [2]

Un autre facteur important pour la couleur est qu'elle est définie et qu'elle définit la mode qui est le pouvoir de motivation pour les dépenses de consommation. La mode a toujours été un puissant moteur pour le textile et son importance a été découverte plus tard dans d'autres industries. Par exemple, ce n'est qu'au milieu des années 90 que l'industrie automobile s'est rendu compte que le développement et la différenciation des produits ne provenaient pas seulement de changements dans la technologie du matériel et des machines, mais aussi par les tendances de la conception et de la couleur des voitures.

Figure 1. Les 16 couleurs brevetées les plus connues et leurs sociétés correspondantes

Conventionnellement, les designers s'appuient sur leurs idées provenant des expositions de mode et de textile pour présenter leurs tendances de couleurs. Ces expositions ont lieu beaucoup plus tôt que la saison qu'elles visent à couvrir, afin que les designers puissent échanger des idées, se renseigner sur les tendances mondiales et donner leur avis. Les tendances des couleurs peuvent être influencées par plusieurs facteurs qui sont imprévisibles à analyser, mais elles sont souvent influencées par les préoccupations de la société et les technologies. Par exemple, lorsque les préoccupations écologiques sont à la hausse, les palettes de couleurs douces avec des couleurs vertes et terreuses

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ont tendance à être à la mode. La technologie peut affecter les palettes de couleurs car les nouveaux produits présentent de nouvelles idées de conception qui se transforment en tendances. Par exemple, lorsque les fibres laminées en métal ont été développées, elles ont été incorporées comme une nouveauté dans la mode féminine.

Avec l'avènement des réseaux sociaux et en particulier d'Instagram, la création de mode et de tendances a rapidement changé. Avant cela, la mode était saisonnière et était axée sur les créateurs et commercialisée dans les points de vente au détail. Les réseaux sociaux et les soi-disant « influenceurs » affectent les décisions des clients ainsi que les tendances qui se propagent rapidement « virales ».

3. Le rôle de la perception humaine des couleurs

La façon dont les humains perçoivent les couleurs a été analysée dans la section «Science de la couleur et communication et contrôle objectifs de la couleur» de ce livre électronique. Dans cette section, nous nous concentrerons sur le rôle de la perception humaine dans la gestion des couleurs. Pour reprendre ce qui a déjà été mentionné, les humains voient la couleur grâce aux cellules photo-réceptrices de la rétine de l'œil, qui génèrent des signaux vers le cerveau. L'œil possède également des cellules très sensibles appelées bâtonnets qui ne sont pas actives pendant la lumière du jour normale et génèrent des signaux sur l'échelle de gris. Les cônes répondent à trois zones différentes du spectre lumineux, à savoir les courtes longueurs d'onde (bleu) culminant à environ 445 nm, la longueur d'onde moyenne (vert) culminant à environ 535 nm et les longues (rouge) culminant à environ 565 nm.

La couleur du matériau teint dépend de l'interaction lumineuse avec celui-ci et se caractérise par son spectre de réflectance, car certaines longueurs d'onde sont absorbées par le matériau et d'autres sont réfléchies et interagissent avec l'œil. Ainsi, la couleur perçue dépend de la lumière réfléchie d'un matériau coloré.

Un matériau conserve ses valeurs de réflectance relativement stables, mais elles apparaissent différemment lorsque l'ensemble des conditions d'observation change, car la perception des couleurs dépend de la source lumineuse, de la période dans la journée et d'autres facteurs. C'est un point important car cela rend le jugement d'apparence de couleur très subjectif. Compte tenu du fait que la perception des couleurs est basée sur une triade, c'est-à-dire source lumineuse - matière colorée - observateur, il est assez remarquable que nous voyions les mêmes couleurs. Cela est dû à un phénomène appelé constance des couleurs qui est un exemple de constance subjective. Il s'agit d'une caractéristique du système humain de perception des couleurs qui permet au cerveau de percevoir les couleurs de manière relativement identique, quelles que soient les conditions d'éclairage variables. Ceci est très utile car cela permet d'identifier correctement les objets quel que

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

soit l'éclairage, et cela est très utile pour la vie humaine. Cependant, ce phénomène nous aide généralement à voir les mêmes couleurs mais ne s'applique pas aux variations de couleurs subtiles ou ne gère pas les changements de couleur dus aux changements d'intensité lumineuse.

Des études ont montré que la correspondance des couleurs d'échantillons de matériaux est compliquée lorsque de nombreuses personnes sont impliquées et que les conditions varient. En résumé, les décisions de correspondance des couleurs et de différence de couleur dépendent de :

- Conditions d'éclairage
- Le type de d'arrière-plan
- Distance œil - échantillon
- Bruit
- Âge de l'observateur (les personnes âgées ont des lentilles oculaires plus jaunes)
- Médicaments ou consommation de substances
- Mémoire
- Humeur

Figure 2. Une image montrant le phénomène de la constance des couleurs. Cette image ne contient que des tons de rouge et de gris, mais lorsqu'elle est vue dans l'obscurité après un certain temps, le spectateur voit du bleu et du blanc [Source: Wikimedia commons]

Cette subjectivité du jugement de couleur a conduit à :

- la création de représentations mathématiques de la perception des couleurs sous forme d'espaces colorimétriques
- l'établissement d'une équation de différence de couleur pour permettre des décisions de réussite/échec

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

– le développement d'instruments de mesure des couleurs sous forme de colorimètres et de spectrophotomètres.

4. Facteurs affectant les données de couleur et l'évaluation

Le fait qu'il existe des méthodes objectives de perception des couleurs et d'évaluation des différences de couleurs ne signifie pas qu'une entreprise possédant un instrument de mesure des couleurs peut produire des données de couleurs fiables avec précision et reproductibilité. Plusieurs facteurs peuvent introduire de la variabilité et de l'inexactitude. Pour garantir la confiance dans la qualité des données de couleur, les sources qui introduisent des variations doivent être identifiées et contrôlées.

La première étape consiste à identifier la norme qui sera utilisée pour la correspondance des couleurs dans la production. Il s'agit généralement d'un échantillon de tissu. Cela doit être conservé correctement et dans un environnement propre

La norme doit être mesurée et convertie en données numériques de couleur. Si l'échantillon doit être utilisé pour la prédiction de correspondance de la recette, les données de réflectance sont le seul moyen de permettre aux systèmes de correspondance des couleurs de fonctionner de manière fiable. Par conséquent, l'étalon doit être mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre plutôt que d'un colorimètre.

Les matériaux textiles ont plusieurs facteurs influençant leur réflectance mesurée et il existe une certaine méthodologie qui doit être suivie afin d'obtenir les résultats les plus précis possibles. Cette méthodologie sera analysée dans le paragraphe suivant.

Les mesures réalisées par les spectrophotomètres au niveau du client ou du fournisseur doivent avoir un degré élevé d'accord inter-instruments, ce qui signifie qu'ils doivent donner les mêmes valeurs de réflectance pour les mêmes échantillons. Ce niveau d'accord est obtenu en les calibrant à l'aide de certains carreaux de céramique standards.

La correspondance des couleurs doit être effectuée de manière instrumentale à l'aide d'un logiciel spécial à cet effet. Lorsque le fournisseur dispose de données de couleur de réflectance fiables, une recette peut être dérivée pour n'importe quel substrat. La correspondance instrumentale des couleurs présente le grand avantage de la vitesse et de la flexibilité sur le substrat appliqué. Ainsi, une teinte donnée peut être produite de manière fiable en coton, polyester ou autres types de tissus. Un autre facteur important est que le phénomène de méta-mérisme peut être évité avec des recettes dérivées instrumentalement

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[3]. Le méta-mérisme est le phénomène où deux couleurs apparaissent identiques dans un ensemble donné de conditions, généralement l'éclairage mais ne correspondent plus lorsque ces conditions changent.

Color Performance - [With Temperature Correction]

Color Equation: CIELab(D65/10) (T=20.7°C, RH=51.0%)

Tile	Lim dE	P/F	dEcorr	dEuncorr	DL*	DC*	Dh*	Da*	Db*
Pale Grey	0.400	PASS	0.036	0.142	-0.025	-0.140	0.006	0.060	-0.126
Mid Grey	0.400	PASS	0.081	0.115	-0.070	0.090	-0.019	-0.075	0.053
Deep Grey	0.400	PASS	0.084	0.189	-0.083	0.116	0.124	-0.082	0.149
Deep Pink	0.400	PASS	0.225	0.243	-0.016	-0.171	0.171	-0.186	0.156
Red	0.400	PASS	0.059	0.231	-0.131	0.093	0.166	0.006	0.190
Orange	0.400	PASS	0.025	0.232	-0.066	0.218	0.045	0.098	0.200
Bright Yellow	0.400	PASS	0.063	0.234	-0.027	0.230	-0.032	0.041	0.228
Green	0.400	PASS	0.022	0.228	-0.050	0.197	-0.104	-0.129	0.182
Cyan	0.400	PASS	0.039	0.077	-0.058	0.037	0.035	0.010	-0.049
Deep Blue	0.400	PASS	0.060	0.175	-0.102	-0.024	0.140	0.118	0.079
White tile	0.250	PASS	0.096	0.103	-0.018	0.042	-0.092	0.089	0.048
Black tile	0.350	PASS	0.187	0.243	-0.228	-0.030	-0.080	-0.066	0.055
Mean dE			0.081	0.184					

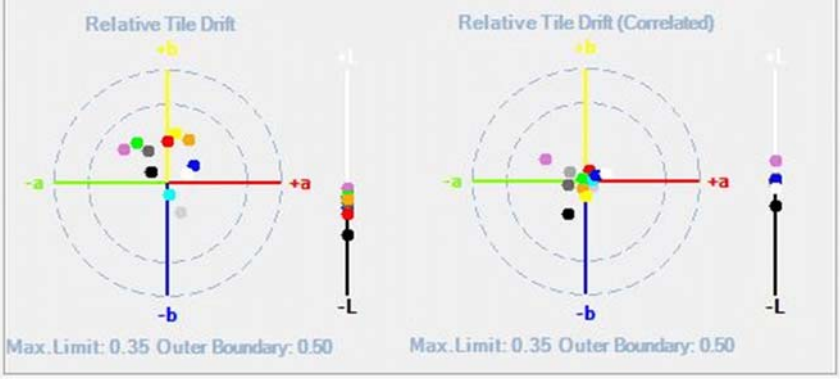


Figure 3. Performances colorimétriques d'un spectrophotomètre avant et après étalonnage avec un instrument standard. [Source: Datacolor suite]

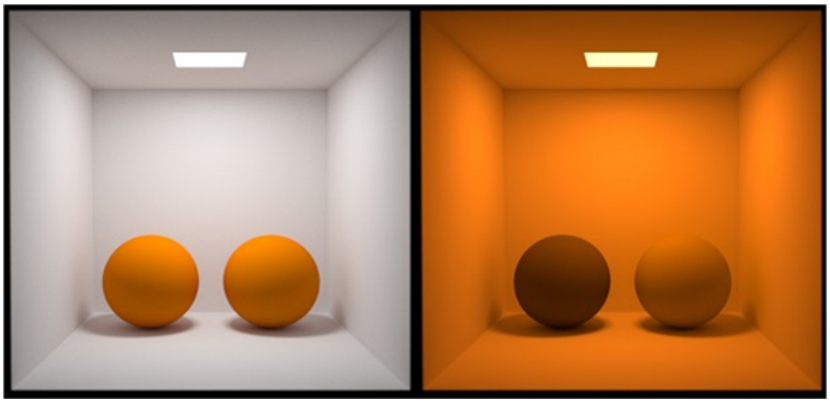


Figure 4. Paires métamériques qui se ressemblent à la lumière du jour et qui diffèrent par l'éclairage au tungstène. [Source: Eclat digital]

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Lors du réglage fin de la communication des couleurs, les aspects colorimétriques et mathématiques doivent également être standardisés. Une directive générale est que le fournisseur et le client doivent se mettre d'accord sur l'illuminant standard CIE qui doit être utilisé et l'équation de différence de couleur préférée. Pour les textiles, l'illuminant standard CIE D65 et l'équation ΔECMC (2 : 1) pour la différence de couleur conviennent à tous les usages. Ne pas déterminer ces deux paramètres car leur détermination peut entraîner de mauvaises décisions de réussite/échec.

Étant donné que de nombreuses évaluations sont effectuées sur des écrans, il convient de noter que les écrans utilisés pour tester la couleur doivent être calibrés à travers un logiciel spécial avec l'utilisation d'un chromamètre.

Enfin, l'évaluation visuelle doit être effectuée dans un environnement contrôlé. Le mieux serait d'avoir une cabine lumineuse avec différentes sources lumineuses standardisées et de faire l'évaluation visuelle de base à l'aide de la lampe à lumière du jour. S'il n'y a pas de cabine lumineuse, les échantillons doivent être évalués dans une pièce éclairée à la lumière du jour sur une fenêtre orientée au nord et jamais sous les lampes fluorescentes habituelles d'un bureau.

Figure 5. Cabine de couleur Pantone / X-Rite [Courtesy of X-Rite]

5. Conditionnement des échantillons

Lors de la mesure d'un produit textile, il faut comprendre qu'une mesure fiable est celle d'un matériau opaque, sinon la réflectance sera une combinaison du textile et du support (généralement le porte-échantillon). Dans ce cas, les données ne sont pas fiables. Un bon guide consiste à plier l'échantillon en quatre couches (le plier deux fois), puis à le mesurer.

Le logiciel de mesure a la capacité de faire la moyenne des mesures et de stocker la moyenne des données de réflectance. Étant donné que les produits textiles ont souvent une direction, il est

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

avantageux de faire deux mesures sur la même zone d'un échantillon, chacune différente de l'autre de 90° et de stocker la moyenne.

Parfois, les échantillons n'ont pas d'uniformité. Dans ce cas, la mesure doit être effectuée dans différentes zones de l'échantillon, puis faire la moyenne. En général, plus il y a de zones mesurées sur un échantillon, la précision sera meilleure. Pratiquement cependant, il n'y a aucun avantage sérieux à mesurer plus de 6 zones.

Les instruments de mesure des couleurs peuvent avoir des ouvertures différentes. Si la zone colorée est suffisamment grande, la plus grande ouverture donne des résultats plus précis. Parfois, bien que la couleur soit dans un motif d'impression ou que l'échantillon soit trop petit, une ouverture plus petite est utilisée.

L'échantillon doit être utilisé avec précaution. Certaines couleurs peuvent se salir et changer très facilement. Habituellement, cela arrive aux blancs et aux couleurs très vives. Surtout dans les blancs, les zones mesurées ne doivent pas être touchées car l'effet FWA peut facilement être supprimé.

Figure 6. Mesure d'un tissu plié deux fois - quatre couches [Courtesy of X-Rite]

En règle générale, une bonne procédure de mesure, convenue entre le client et le producteur, prenant en compte tous les facteurs pouvant introduire des variations, peut aboutir à une communication numérique des couleurs très précises, offrant tous les avantages décrits précédemment.

6. Les couleurs « non mesurables »

La communication numérique des couleurs, lorsqu'il s'agit de couleurs unies, est réalisable et plutôt courante de nos jours. Cependant, les tissus textiles peuvent être fleuris, imprimés, à pois, à rayures et bien d'autres motifs imprimés, tissés ou tricotés. L'analyse de la dentelle, des fermetures éclair et

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

des motifs multicolores se fait toujours manuellement avec tous les inconvénients de l'évaluation manuelle/visuelle. [4]

La mesure de telles couleurs peut être effectuée par diverses technologies. La plus notable est l'imagerie hyper-spectrale, développée par Datacolor International, où un spectrophotomètre spécial est utilisé qui produit diverses images différentes à travers le spectre électromagnétique. Ces images sont préparées pour une mesure objective des couleurs et combinées dans un cube de données hyper-spectral. L'imagerie hyper-spectrale est utilisée en astronomie, en géologie et dans d'autres sciences de la surveillance, mais son application aux textiles est nouvelle et en cours de développement [5].

Des approches plus simples traitent des images numériques, mais la mesure des couleurs « non mesurables » est toujours un aspect de la gestion des couleurs en cours de recherche.

Figure 7. Couleurs non unies sur les matières textiles et les accessoires [Source: Knitting Creative]

7. Avantages de la gestion des couleurs et de la numérisation de la marque

Les créateurs trouvent l'inspiration partout. L'exécution des couleurs se situe souvent à l'intersection de l'art et de la science. En effet, les couleurs envisagées par les concepteurs peuvent ne pas être disponibles chimiquement pour des substrats spécifiques. Cela fonctionne dans l'autre sens dans le sens où de nouvelles couleurs peuvent inspirer les designers pour de nouveaux produits.

Les marques ont parfois des couleurs spéciales ou des motifs caractéristiques qui leur sont associés, l'un des exemples les plus notables étant Burberry®. D'autres marques utilisent des palettes spécifiques associées à leur image globale, par exemple une marque avec un profil écologique utilise

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

des tons doux et terreux par opposition à une marque avec un profil sportif qui peut accueillir des palettes de couleurs très vives et "rapides" avec des jaunes, des rouges et blues électrique.

Au stade de la conception, il y a une collaboration de spécialistes de la couleur avec l'équipe de concepteurs afin que les limites techniques soient communiquées et que les palettes réalisables puissent dériver. Ceci est bénéfique et peut accélérer le processus de production.

L'avènement de la technologie des couleurs et des instruments de mesure, comme les chromamètres portables, a accéléré la numérisation des palettes de couleurs et cela peut réduire les retards de production. Ceci est largement accepté dans l'industrie, mais plus de 50% des produits sont évalués manuellement avec des évaluations visuelles subjectives. Cela se produit parce que de nombreux produits textiles sont de couleurs non unies, c'est-à-dire qu'il s'agit soit d'imprimés, soit de tissus tissés ou tricotés multicolores. Ces couleurs sont un défi et des solutions colorimétriques spéciales ont été développées en tant que spectrophotomètres hyper-spectraux.

Lorsque l'évaluation de la couleur est effectuée visuellement, son développement peut s'étendre sur des semaines, voire des mois. Il est nécessaire de créer des échantillons physiques qui sont envoyés en production puis renvoyés à la marque pour approbation. Souvent, les échantillons de production ne sont pas approuvés, le processus doit donc être répété. Ceci a un coût économique important et entraîne des retards.

La gestion et le contrôle numériques des couleurs permettent la confiance entre les usines et le client afin que la production puisse se dérouler rapidement sans craindre les incohérences des couleurs. L'assurance que la bonne couleur sera obtenue permet aux producteurs de donner des délais de livraison réalistes à leurs clients et leur évite le surcoût du transport aérien dans le cas où certains produits doivent être corrigés. La production sans décalage permet un meilleur flux de travail et les usines peuvent se concentrer sur d'autres problèmes de production comme le contrôle de la qualité et la finition des produits textiles appropriées.

Du côté des marques, le raccourcissement des cycles de production permet une agilité face aux tendances de la mode et une réponse rapide aux évolutions souhaitées. Par exemple, si la marque sait qu'il existe un cycle de production court, elle peut créer des petites séries de production d'une palette mode pour un produit donné et les renouveler rapidement, pendant la saison de vente selon laquelle les couleurs de la palette sont majoritairement préférables de la part des clients, réduisant les stocks excédentaires et les réductions de prix pour les couleurs indésirables. La flexibilité et la réactivité sont le défi actuel des marques. L'accélération des achats en ligne, notamment en raison des blocages liés au COVID, est une tendance qui restera dans un sens dans la période post-COVID. De plus, les marchés à la croissance la plus rapide ne sont pas les marchés «occidentaux» traditionnels mais ceux du Sud - Est de l'Asie, de l'Amérique du Nord et de l'Afrique. Dans cet environnement changeable, la flexibilité et l'agilité sont un facteur clé pour le succès voire la survie d'une marque.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La numérisation permet non seulement de communiquer efficacement, mais rend également le processus d'archivage plus simple et moins long puisque les échantillons sont des fichiers informatiques, parcourus à la manière des photos numériques, sans avoir besoin d'échantillons physiques qui nécessitent de l'espace et de l'organisation.

Références

[1] R. McDonald (editor), *Colour physics for industry*. Bradford, England: Society of Dyers and Colourists on behalf of the Dyers' Co. Publications Trust, 1987

[2] Articles. Colour trade mark. Wikipedia The Free Encyclopaedia. [Online]. Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Colour_trade_mark [Consulté : Mai 15, 2021].

[3] The Physics Hypertext Book. *Color*. [Online]. Disponible sur :https://physics.info/color/ [Consulté : Mai 15, 2021].

[4] How to perform color measurements for hard-to-measure materials. *What is a Hyperspectral Spectrophotometer?* Datacolor. [Online]. Disponible sur :https://www.datacolor.com/what-is-datacolor-spectravision-get-to-know-our-hyperspectral-spectrophotometer/ [Consulté : Mai 15, 2021].

[5] *Introducing Datacolor Spectravision*. Datacolor [Online]. Disponible sur :https://www.datacolor.com/wp-content/uploads/2018/05/spectravision-brochure-digital-EN-1.pdf [Consulté : Mai 15, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

1**. Question 1** : Le méta-mérisme est le phénomène où :

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Les échantillons semblent identiques sous une lumière et diffèrent sous une autre
b) Lorsque l'observateur conserve la même impression de couleur
c) Lorsque les instruments ne sont pas correctement calibrés

2. **Question 2** : Les textiles sont mieux mesurés :

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Plié deux fois dans deux orientations et plusieurs zones
b) En deux couches et deux orientations
c) Utilisation d'un spectrophotomètre étalonné

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 3.4 Introduction et aperçu sur l'équipement de laboratoire décrit dans le projet WINTEX

Monica Ardanuy, Diana Cayuela, Heura Ventura
Ioannis Chronis, Luminita Ciobanu, Adrian Buhu
UPC, UNIWA, TUIASI

1. Introduction

Les équipements décrits sur le projet WINTEX ont été sélectionnés pour faire face aux besoins régionaux des Centres d'Innovation Textiles à développer. L'équipement sera utilisé à des fins d'enseignement et de recherche, ainsi que pour fournir des services de R+D+i (Recherches et Développement et Innovations) aux industries textiles régionales. En ce sens, les équipements sont destinés au contrôle qualité (afin de proposer des tests de textiles avancés) et à la production (pour améliorer la qualité des produits et accroître la compétitivité).

Dans cette partie, cet équipement est présenté pour fournir une compréhension générale de leurs principes de fonctionnement ainsi que les opportunités qu'ils se présentent dans les applications textiles. Par souci de clarté, ils ont été regroupés en quatre grandes catégories :

- Equipements pour **la fabrication textile**
- Equipements pour **l'ennoblissement textile**
- Equipements pour **le design textile**
- Equipements de **caractérisation textile**

Tableau 1. Equipements décrits sur le projet WINTEX

Equipements pour la production textile et le contrôle qualité		
Catégorie	*Equipements*	*Production textile*
Equipements pour **la fabrication textile**	Electrofilage	Fibres/non tissés
	Extrusion et soufflage à l'état fondu / Formations WEB	Non tissés
	Unité de bobinage	Complément pour fils
	Coupe en bout	Auxiliaire pour tissu
	Ourdissoir	Complément pour tissu
	Machine automatique à tricoter rectiligne	Tricot (maille)
	Equipement de touffetage à la main	Autres structures textiles
Equipements pour **l'ennoblissement**	Machine d'impression par sublimation	Impression/teinture
	Machine d'impression numérique	Impression/teinture
	Four à vide	Auxiliaire de finition

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

textile	Bain à ultrason	Complément pour finition
	Machine de calandrage et presse à chaud manuelle	Finition physique
	Machine de découpe de gravure au laser	Finition physique
	Machine à broder numérique	Autres finitions
Equipements pour **le design textile**	Logiciel de conception de vêtements textiles de simulation 3D	Conception des vêtements
	Scanner corporel 3D	Complement pour la conception
	Imprimante 3D	Complement pour la conception
Equipements de **caractérisation textile**	Microscope à balayage électronique	Analyses des produits textiles

2. Equipement pour la fabrication textile

2.1. Équipement d'électro-filage

L'électro-filage est une technique de filage (c'est-à-dire une technique de formation de fibres/filaments) qui utilise des forces électrostatiques élevées pour produire des fibres continues avec des diamètres allant du micron au nanomètre.

La clé du processus consiste à appliquer une haute tension à une gouttelette de liquide (qui est pompée par un mince capillaire) afin qu'elle se charge. La répulsion électrostatique contrecarre la tension superficielle du polymère fluide. La gouttelette est ensuite aspirée, formant un cône de Taylor d'où jaillit un jet de polymère fluide, ce qui donne la nano-fibre continue (Figure 1).

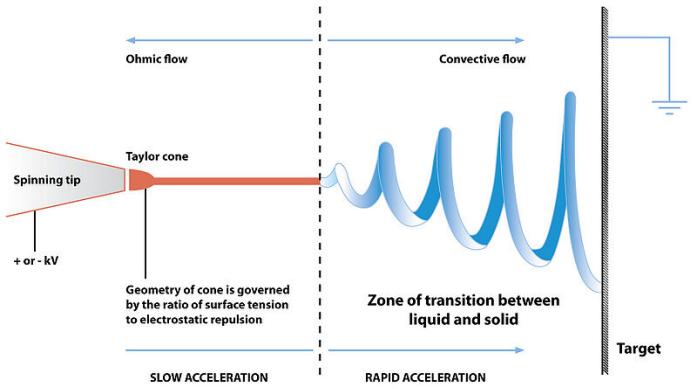


Figure 1. Schéma du principe de l'électro-filage [1]

Dans le procédé d'électro-filage, les nano-fibres sont collectées dans une surface mise à la terre, donnant comme résultat une distribution aléatoire de fibres très fines, sous la forme de non-tissés ou

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

de membranes avec une très petite taille de pores. La forme et la taille du collecteur, ainsi que la possibilité d'utiliser des tambours rotatifs comme collecteur, affecteront la distribution aléatoire des nano-fibres, permettant une certaine orientation dans certains cas.

L'équipement d'électro-filage se compose principalement de :

- Une buse ou une aiguille (comme l'aiguille d'une seringue) connectée à une pompe. Le fluide polymère est pompé hors du capillaire, qui est chargé grâce à sa connexion à l'alimentation électrique.
- Une alimentation haute tension, qui fournit le champ électrique haute tension nécessaire à la formation des nano-fibres.
- Un collecteur mis à la terre où sont collectées les nano-fibres.
- Une chambre d'isolation pour maintenir le processus d'électro-filage dans l'atmosphère requise, qui varie en fonction du polymère utilisé et des conditions de traitement.

De nombreux facteurs influencent le processus d'électro-filage, tels que l'intensité du champ électrique, la distance de travail, la concentration en polymère, la viscosité de la solution et son débit, l'humidité relative, etc. Par conséquent, il est important de contrôler tous les facteurs environnementaux. Paramètres, ainsi que les réglages de l'équipement et les conditions de la solution de polymère afin de pouvoir détecter et corriger tout effet indésirable trouvé dans les fibres résultantes. Les défauts typiques sont le manque de définition des fibres, la fusion entre les joints de fibres, ou l'apparition de bourrelets (irrégularités de diamètre) ou de porosité sur les fibres.

Utilisations des membranes en nano-fibres électro-filées

Les fibres électro-filées ou les membranes produites (Figure 2) peuvent avoir de nombreuses applications telles que filtres, capteurs, substrats catalytiques à zone spécifique élevée, vêtements de protection, isolation thermique ou, dans le domaine médical, comme échafaudages, pansements, etc. [5], [6]. Par exemple, les non-tissés en nano-fibres peuvent être d'une grande importance dans la production de masques pour la protection contre le Covid-19.

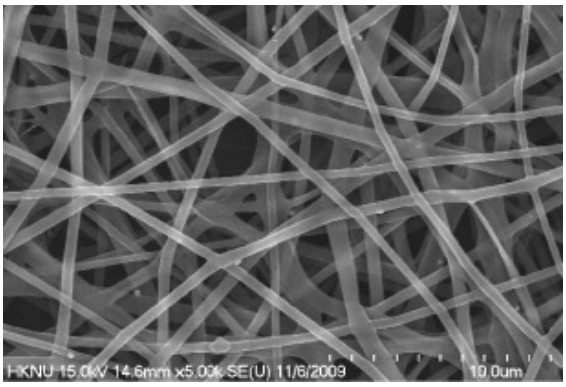


Figure 2. Membrane électro-filée (adapté de [2])

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.2. Équipement du procédé fusion - soufflage

Le soufflage par fusion et le filage direct sont deux techniques de production de non-tissé similaires et largement connues. Les deux sont des méthodes de fabrication conventionnelles à grande vitesse qui permettent la production de non-tissés à partir de polymères thermoplastiques. La principale différence entre eux est que dans le soufflage à l'état fondu, la taille des fibres est plus petite, généralement dans la plage des microfibres basses (Figure 3).

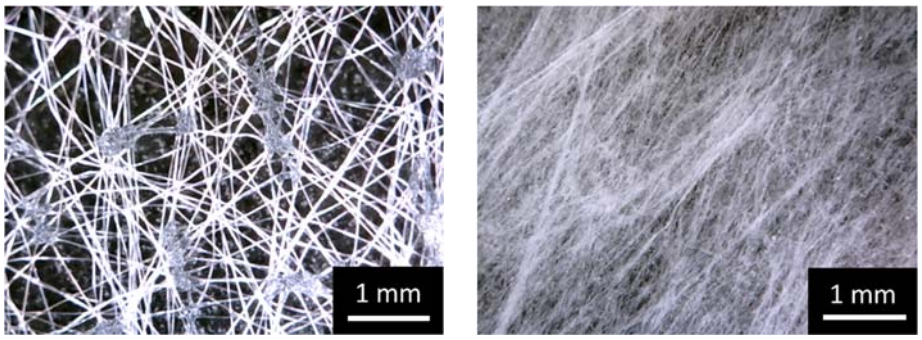


Figure 3. Comparaison entre un non-tissé filé-lié (à gauche) et un non-tissé soufflé à l'état fondu (à droite), où la différence de finesse des fibres peut être appréciée (UPC Textile Division 2021)

En effet, comme son nom l'indique, lors du soufflage à l'état fondu, le polymère est chauffé jusqu'à la fusion puis extrudé à travers de petites buses, ce processus étant assisté par un soufflage de gaz chaud à grande vitesse, ce qui permet de réduire le diamètre initial de les fibres extrudées, atteignant des diamètres microscopiques. Ces microfibres sont déposées de manière aléatoire dans une bande transporteuse ou une surface similaire, ce qui produit la nappe du non-tissé (Figure 4). Cependant, en raison de leur similitude, le soufflage à l'état fondu est parfois considéré comme un processus dérivé du filage direct, et ils sont souvent combinés pour la production d'un certain type de produit non tissé défini comme SMS (filage direct/fusion soufflage/filé-lié).

Figure 4. Formation d'un non tissée par le procédé soufflage par fusion [3]

Pour la production de fusion-soufflage, les points clés du processus sont [5] :

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- L'extrudeuse, un fourreau équipé d'un système de chauffage et d'une vis rotative responsable de la fusion du polymère. Ensuite, le polymère est entraîné vers l'ensemble matrice au moyen d'un engrenage ou d'une pompe doseuse. À ce stade, la vitesse de rotation et le profil de température sont essentiels pour obtenir la viscosité adéquate du polymère.
- L'ensemble filière, qui se compose principalement de trois éléments : la plaque de distribution d'alimentation (qui doit créer un écoulement adéquat du polymère), le nez de filière ou pointe de filière (responsable du diamètre des fibres et de la régularité de la nappe, dont la conception peut éviter colmatage), et les collecteurs d'air ou lames d'air (qui fournissent l'air à grande vitesse conduisant au fibrage). Ce système est responsable de la qualité des fibres.
- L'étape de formation de la nappe, car il existe de multiples paramètres qui affectent les propriétés finales du non-tissé. Le système principalement à air chaud attire les fibres, ce qui peut affecter la cristallinité des fibres et, par conséquent, la résistance des fibres. Le système d'air secondaire ou environnant se refroidit et enchevêtre les fibres produisant une nappe auto-liée, ce qui peut affecter le degré d'enchevêtrement des fibres et donc la résistance de la structure non tissée. De plus, le système de collecte peut être un tamis mobile ou un tambour, ce qui peut conduire à une certaine orientation des fibres (anisotropie de la nappe).
- Les variables de traitement, qui doivent être optimisées pour assurer la qualité et la régularité du non-tissé. En termes généraux, des paramètres tels que les débits d'alimentation en polymère et en gaz d'alimentation, les températures du polymère, du gaz et de la filière, la viscosité du polymère, l'angle d'air et l'espace ou la distance filière-collecteur, entre autres.

La technique de fusion-soufflage, étant un procédé simplement basé sur la température et le soufflage de gaz, présente certains avantages tels qu'une vitesse de production élevée et un fonctionnement sans solvant. Et bien que les matières premières disponibles pour le traitement soient limitées (en raison de la nécessité de pouvoir être conformes à la température), la disponibilité actuelle des polymères thermoplastiques et des traitements de finition supplémentaires permettent de couvrir un large éventail d'exigences, le polypropylène étant le polymère le plus couramment utilisé dans la production de non-tissés par soufflage par fusion [3]. En outre, un autre avantage réside dans les propriétés du non-tissé résultant puisque, comme mentionné précédemment, les fibres plus minces obtenues par fusion-soufflage génèrent des structures poreuses plus fines, ce qui est d'un grand intérêt pour certaines applications telles que la filtration.

Utilisations des non-tissés soufflés à l'état fondu

Les non-tissés soufflés à l'état fondu ont de nombreuses applications. En raison de leur faible coût, ils sont utilisés dans les couches jetables et les produits d'hygiène féminine. Cependant, ils sont également utilisés dans d'autres applications à haute valeur ajoutée. Par exemple, en raison de leur

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

nature finement poreuse, ils présentent un grand intérêt comme absorbants (peuvent retenir l'huile et d'autres substances/particules contaminants au sein de leur structure), ou comme filtres de gaz et de liquides (traitement de l'eau, filtres de climatisation, filtration d'air masques...). De plus, en raison de leur isolation thermique et de leur respirabilité (aération), ils sont également utilisés comme couches intérieures dans les vêtements techniques pour les environnements difficiles. De plus, il existe d'autres possibilités hautement techniques pour les non-tissés soufflés à l'état fondu, car ils peuvent être produits par des fibres spéciales chargées de médicaments et être utilisés dans l'administration contrôlée de médicaments.

2.3. Matériel de coupe et d'enroulement des non tissés

"Edge-Cutting & Winding Unit" est compatible avec l'extrusion & Melt-Blown associés pour produire du non tissé par la méthode d'extrusion-soufflage. Meltblown est une sorte de non-tissé électrostatique ultrafin avec un diamètre de fibre d'environ 2 microns, qui peut, en particulier, être utilisé pour la fabrication de masques de visage médicaux. Le diamètre de la fibre ultrafine n'est que le dixième de celui de la fibre utilisée pour la couche extérieure du masque, il est donc efficace pour piéger la poussière. Les gouttelettes contenant le virus seront également collées électrostatiquement à la surface de la fonte, incapables de la traverser. Le polymère fondu est extrudé à travers une matrice à orifice avec un jet d'air chaud pour former une voile fibreuse. Le polymère fondu est extrudé à travers une matrice à orifice avec un jet d'air chaud pour former une bande fibreuse. Ce dernier subira alors un traitement antistatique et une finition des bords avant d'être enroulé.

Figure 5. Machine à découper et à enrouler les non tissés (Aimix group co)

2.4. Matériel d'ourdissage

Les tissus sont obtenus en entrecroisant au moins deux types de fils, chaîne et trame. La chaîne ne peut pas être utilisée dans le processus de production des tissus sans l'existence de l'ourdissoir de la

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

chaîne. L'ourdissage est un processus inévitable de préparation de la chaîne pour le processus de tissage. Il existe principalement deux systèmes d'ourdissage :

- L'ourdissage direct classique) est utilisée pour traiter de grandes quantités de fils, ce qui nécessite une étape ultérieure (regroupement des rouleaux et encollage). Ce type d'ourdissage n'est pas recommandé pour les constructions de petites superficies.

- L'ourdissage sectionnel : Il est recommandé d'utiliser pour tous les types de fils, il occupe une petite surface, il permet d'obtenir la chaîne sur un seul ensouple et peut être réalisée pour des rapports de couleurs dans le cantrel. En même temps, le personnel qui règle les paramètres de la machine doit faire très attention aux valeurs de départ pour éviter les défauts d'enroulement. Des chaînes de petites longueurs peuvent être obtenues, la longueur maximale étant limitée par les dimensions du tambour d'enroulement.

Ces ourdissoirs ont l'avantage d'avoir des cantres de petite taille et de faible capacité, d'obtenir des chaînes avec des longueurs appropriées pour les échantillons ou des chaînes avec des longueurs allant jusqu'à 1500 m, des rapports de couleurs complexes peuvent être obtenus et sont recommandés pour les tissus d'habillement.

L'ourdissage direct et sectionnel sont recommandés pour l'obtention d'ourdissages pour les tissus techniques.

2.5. Machine à tricoter automatique rectiligne

Les machines à tricoter rectlignes automatiques (tricot trame) présentent différentes possibilités technologiques qui proposent des produits tricotés pour une large gamme d'applications: vêtements, produits décoratifs et aussi différentes applications techniques/intelligentes.
Les principaux producteurs de machines automatiques à tricoter rectilignes sont **Shima Seiki du Japon et STOLL**, qui fait partie du groupe **Karl Mayer** d'Allemagne.

Ces machines peuvent produire toute la game des motifs tricotés de trame (tuck, miss, points transférés, intarsia, jacquard, etc.) et peuvent traiter tous les types de fils (principalement laine, coton, acrylique et les mélanges), y compris les fils fantaisie. La nouvelle génération de machines à tricoter rectiligne a la possibilité d'introduire des fils (vanisage dans le sens du parcours) qui donneront au tissu un aspect similaire aux tissus ou qui pourront être exploités pour des applications techniques.

Outre leur polyvalence structurelle, les machines à tricoter rectilignes ont l'avantage du mode 2D et 3D. Cela signifie qu'ils peuvent produire des panneaux à la forme et aux dimensions des pièces de vêtement. Actuellement, c'est le tricotage à la carte des vêtements, car il élimine les déchets industriels résultant de la coupe. Au cours des deux dernières décennies, des machines à tricoter rectiligne capables de tricoter intégralement l'article, ont été développées pour produire l'ensemble

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

du produit (vêtement ou autres applications) sans coupe et couture, ce qui rend le tricotage rectiligne adapté au zéro-déchets, exigences de la durabilité et de l'économie circulaire en matière de déchets.

Dans le cas d'applications techniques/intelligentes, les matières premières (comme le verre et le carbone, les fils à teneur métallique) et la structure du tissu doivent être sélectionnées en fonction de l'utilisation finale, de la tricotabilité de ces fils à haute performance et des caractéristiques requises. Le tricotage rectiligne convient bien aux produits médicaux non implantables (pansements, bandages, produits orthopédiques, vêtements de compression/bandages), mais aussi aux tissus intelligents (en particulier les e-textiles) où le tricotage présente l'avantage d'introduire des fils spéciaux dans certaines régions à partir du produit et dans une direction préférentielle. Les applications industrielles comme les joints, le boîtier de protection, les préformes composites (tissus d'espacement et coquilles tricotées à géométrie 3D complexe) sont bien documentées.

Les panneaux tricotés pour les produits sont programmés à l'aide de systèmes CAD spécifiques à chaque producteur : SDS One APEX pour Shima Seiki et M1+ pour STOLL. Indépendamment des différences d'interface, toutes les applications de programmation doivent verifier les éléments suivants :

- La structure du tissu et la forme du panneau (entièrement façonné),
- Le processus de tricotage (séquence de tricot),
- Les paramètres technologiques (en particulier la position de la came de qualité, le retrait, la vitesse de tricot).

Une tendance importante est actuellement le prototypage virtuel basé sur les tissus et les produits reels. Le plus avancé dans cette direction est le programme APEX de Shima Seiki, offrant un ensemble complet de modules qui permettent la conception artistique et structurelle du produit, la simulation de tissu (travaillant avec une grande bibliothèque de fils) et la simulation 3D du produit à l'aide d'un avatar. De cette façon, les entreprises peuvent interagir facilement et efficacement avec les clients, ce qui leur permet de gagner du temps et d'économiser de l'argent dans la conception d'une collection.

Une autre caractéristique de polyvalence à considérer pour le tricotage rectiligne est la possibilité d'élargir la gamme de produits qu'une machine peut produire en utilisant la série multigauge. Les machines Multigauge peuvent tricoter en deux calibres différents, le plus élevé en utilisant toutes les aiguilles, l'autre, réduit de moitié en travaillant avec des aiguilles sélectionnées (1x1). Les aiguilles et les guides d'aiguille sont adaptées pour permettre ce changement et faciliter le tricot de fils plus grossiers requis par le calibre inférieur.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.6. Tufetage manuel

Machine de tufeter à la main (également appelé pistolet de tufetage à la main) est un dispositif portable qui peut être utilisé pour créer des tufts sur un support (envers du tissu). Les touffes sont créées par le mouvement répétitif de l'aiguille qui transporte le fil, pénètre dans le tissu arrière créant le fil et les ciseaux qui coupent le fil et finalisent la menace de la touffe. Le pistolet est activé au moyen d'une gâchette et peut être actionné électriquement ou pneumatiquement.

Le pistolet doit être fermement appuyé sur la toile de fond, afin que les touffes soient stables. La procédure de tuftage commence par la création du motif sur la toile de fond, généralement en dessinant le motif sur la toile de fond ou à l'aide d'un vidéoprojecteur. L'ouvrier du pistolet peut alors suivre le dessin et créer les touffes. Les touffes peuvent être des lignes ou des formes remplies, ou de différentes couleurs, selon la couleur du fil.

Figure 6. Tufetage manuel (Hofmann Handtuf Technic, https://hofmann-handtuft.de/category/handtuftmaschinen/)

Paramètres opérationnels :

- Couleur, matériau et diamètre du fil,
- Vitesse de l'aiguille,
- Hauteur de la pile.

3. Équipement pour l'ennoblissement des textiles

3.1. Matériel d'impression par sublimation

Sous haute température, certains colorants solides peuvent passer directement sous forme gazeuse sans être d'abord convertis en liquide. Ce processus naturel est appelé sublimation ou sublimation

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

thermique de colorant. Aujourd'hui, l'impression par sublimation thermique est devenue un procédé connu et flexible utilisé principalement pour l'impression de différents types de tissus.

Une encre à sublimation thermique est constituée d'un colorant solide ou d'un colorant en suspension dans une formulation liquide. Une image est imprimée sur un papier de transfert, qui est en contact avec un tissu de polyester au moyen d'une presse thermique. Sous l'effet de la chaleur et de la pression, le colorant solide se sublime et diffuse dans le tissu, en se fixant sur ses fibres. Ainsi, l'image devient une partie du support.

Au cours des dernières années, des systèmes sont apparus qui peuvent imprimer directement sur le tissu sans avoir besoin de papier de transfert. Les deux méthodes (avec ou sans papier de transfert) ont leurs avantages et leurs inconvénients.

Le plus grand avantage d'utiliser la méthode du papier de transfert est la qualité de l'image, qui fournit une image plus détaillée, avec des bords plus nets, un texte plus clair et des couleurs plus vives. Avec ce procédé, l'encre ne pénètre pas profondément dans le substrat, en restant près de sa surface. Au contraire, avec une pate directe, l'encre pénètre davantage dans le tissu, ce qui, comme l'impression jet d'encre sur papier ordinaire, signifie que les détails sont perdu et les couleurs deviennent moins intenses.

La différence réside dans le fait qu'avec le papier de transfert, le résultat est toujours plus clair et, par conséquent, dans les emplois qui exigent des détails, le papier de transfert est utilisé. Un autre avantage de la méthode de transfert est qu'il est méthode flexible, qui fonctionne sur n'importe quelle surface avec un revêtement de polyester. D'autre part, la plupart des applications non planes nécessitent des presses différentes pour s'adapter à leur forme [7].

Le plus grand avantage de l'impression par sublimation directe est la réduction des coûts, car le papier de transfert n'est pas nécessaire. Il est difficile de généraliser, étant donné la variété des machines, des supports, etc., mais la nécessité d'utiliser du polyester spécialement enduit en impression directe ne compense pas entièrement les économies de papier. Les encres d'impression directe par sublimation sont à peu près au même prix que les encres portables, mais la plupart du temps la quantité consommée en impression directe est plus grande, selon le travail. Mais en général, avec l'impression directe, il y a des marges d'économies. Le principal avantage de la dispersion directe est la pénétration profonde de l'encre dans le tissu et sa saturation. Ainsi, lorsque vous imprimez un grand drapeau rouge, la couleur atteindra le dos ainsi, avec le résultat, même si le texte ou l'image sur le dos est à l'envers, quelqu'un va le reconnaître en le regardant à distance.

L'impression directe offre également des avantages par rapport à l'impression de vêtements. Dans la plupart des vêtements qui sont imprimés, le support textile est blanc, résultant en ce que l'on appelle "sourire" dans l'impression lorsque le tissu est étiré. Avec l'impression directe, ce problème n'existe pas puisque la couleur pénètre profondément dans le substrat. Bien sûr, en cas de dépôt

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

d’une plus grande quantité d’encre et si le tissu n’a pas bien séché, il y a un risque que l’encre "fluage" en cas d’humidité.

3.2. Machine d’impression numérique

L’impression numérique est une nouvelle technologie pour les supports textiles, avec l’avantage le plus important qui est un processus rapide et facile, par rapport aux méthodes d’impression conventionnelles pour les textiles. Il peut également imprimer un motif plus détaillé, grâce à la technologie jet d’encre. Le motif d’impression est introduit sous forme de fichier numérique et est encré par les têtes d’imprimante sur le support. L’impression numérique peut être appliquée au coton ainsi qu’aux textiles en polyester. Les matrices réactives sont la meilleure solution pour les textiles de coton et les colorants acides ou de dispersion sont également utilisés.

L’impression numérique a un coût fixe par article, il est donc plus favorable pour les petits et moyens lots, par rapport aux procédés de teinture conventionnels, donc il convient mieux aux besoins des produits personnalisés (par ex. vêtements de luxe).

Les caractéristiques importantes d’une machine d’impression numérique sont la vitesse d’impression et la taille de la zone d’impression, ainsi que l’interface pour le contrôle de l’appareil.

Figure 7. Imprimante numérique textile (EPSON Co)

3.3. Équipement à ultrasons

Les ultrasons, souvent appelés simplement sonication, utilisent des ondes sonores avec des fréquences de 20 kHz ou plus pour produire des vibrations. Son principe de fonctionnement est basé sur l'alternance de basses et hautes pressions combinées dans une onde sonore, qui produisent une vibration des particules de la substance lorsqu'elle la traverse. Lorsque les fréquences sonores appropriées sont utilisées dans une solution, les vibrations générées sont capables de produire des

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l’auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l’utilisation qui pourrait être faite des informations qu’elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

milliers de microbulles dans la solution, qui s'effondrent en produisant un effet de cavitation. Cette cavitation est très utile pour agiter des fluides, disperser des mélanges ou nettoyer la surface d'échantillons immergés dans un bain.

Les équipements à ultrasons sont pourvus d'un transducteur qui, au moyen de cristaux piézoélectriques, est capable de transformer un signal électrique produit par un générateur en une vibration mécanique. Cette vibration est typiquement amplifiée et transmise à la sonde, qui la transmet à la solution. Cependant, la sonication peut également être effectuée dans un bain à ultrasons. Dans les deux cas, bain à ultrasons et sonde sonicatrice (figure 8), il y a un certain degré d'échauffement dû aux vibrations propres, il est donc important de contrôler l'augmentation de température pour certaines applications.

Figure 8. Équipement sonnore : (à gauche) Sonde sonnore (Source DBCLS TV, CC BY 4.0 https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=55202149); (right) ultrasonic baths in different sizes (Source Vozyno – Vlastní dílo, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29584293).

Utilisations des ultrasons

Cette technique peut avoir de multiples utilisations telles que : l'extraction de composés (par exemple, à partir de plantes, de microalgues ou d'algues) ; nettoyage (par exemple, pour détacher des échantillons collés dans des porte-échantillons ou nettoyage de bijoux) ; agiter des mélanges, disperser des nanoparticules, produire des nano émulsions, accélérer des dissolutions, etc. ; ou le dégazage des échantillons si la sonication est réalisée sous vide, entre autres. Dans le secteur textile plus particulièrement, les ultrasons peuvent être utilisés pour produire des solutions fonctionnelles sol-gel ou nanoparticulaires pour l'enduction textile, ou pour réaliser des procédés humides de manière plus efficace (lavage plus écologique, teinture, décapage, etc.), par exemple. De plus, la sonication peut présenter un intérêt dans la recherche sur le traitement des eaux usées textiles.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3.4. Équipement de calandrage

La machine de calandrage de tissu est utilisée dans le processus de teinture et de finition en laboratoire. Il peut être appliqué sur du coton pur, coton de polyester, tissus de soie, fibre chimique, de laine et autre tissu en mélange, ainsi que le processus de compactage de rouleau de matériaux de construction, matériaux d'emballage en plastique et produits de papier.

Il est équipé d'une paire de rouleaux, le supérieur est un rouleau en nylon qui peut résister à la température jusqu'à 180°C, le rouleau inférieur est un rouleau chauffant à plaques chromées qui peut laisser le tissu avoir un lustre différent par chauffage, friction et presse. Le module de pression hydraulique peut faire monter la pression linéaire jusqu'à 5T. Équipé d'un arrêt d'urgence pour protéger la machine et les opérateurs.

Spécifications clés :

- Taille du rouleau supérieur : rouleau en nylon Φ150 x 400 mm,
- Taille du rouleau inférieur : rouleau de plaque chromée Φ150 x 400 mm,
- Vitesse de travail : 0~6m/min,
- Méthode de pressurisation Max. 5T, appliquée par pression d'huile,
- Méthode de chauffage : La température maximale du rouleau d'acier par l'électricité avec 3KW 210,
- Moteur d'entraînement AC380V triphasé 1,5 kW.

Figure 9. Machine de calandrage (FANYUAN INSTRUMENT (HF) CO., LTD.- DOWELL SCIENCE AND TECHNOLOGY (HK) CO., LTD.)

3.5. Presse à chaud

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La presse à chaud est une partie essentielle du matériel pour la sublimation. Il chauffe l'encre qui sera sublimée sur le support textile. La presse assure une pression ferme et stable du papier transfert sur le support textile pendant le temps requis, car sinon le résultat ne sera pas satisfaisant.

Les types de presse manuelle les plus courantes sont le type à coquille ou à bascule. Les presses à coquillages permettent de gagner de la place sur le lieu de travail, car leur configuration est verticale, ce qui est très important si la sublimation doit être appliquée sur une grande surface. Les presses à palourdes donnent également à l'utilisateur une sensation de presse plus ferme. Les presses pivotantes offrent plus d'espace libre devant l'utilisateur, sont plus favorables du point de vue ergonomique mais nécessitent plus d'espace dans l'installation. De plus, les presses pivotantes sont plus sûres, concernant le risque de blessure.

La presse à chaud manuelle devrait fournir des conditions fiables d'une pression d'environ 40 psi et d'une température de 400 °F. Pour cette raison, les pièces mécaniques doivent être de qualité et de fiabilité adéquates. Le matériau de la surface de pressage doit également permettre une presse ferme et uniforme, ainsi qu'une opération de longue durée. Une autre caractéristique importante concerne l'ergonomie des poignées de la presse et le fonctionnement en général, surtout si de gros volumes de travaux de sublimation doivent être exécutés [8].

3.6. Machine de gravure et à découpe laser

La gravure et la découpe au laser de produits textiles ou de tissus est une méthode pratique et facile, qui fournit des résultats détaillés et peut être automatisée pour une production rapide. Le motif découpé ou gravé est introduit dans l'appareil sous forme de fichier numérique et la tête laser est pilotée par le logiciel afin d'exécuter le motif. La convivialité et les fonctions du logiciel sont l'une des caractéristiques importantes de la machine, car elles sont liées à la convivialité des fonctions de contrôle et à la vitesse des opérations. La machine est couplée à un dispositif d'alimentation qui permet un traitement automatisé plus rapide de gros volumes de produits.

Figure 10. Machine de découpe et de gravure laser pour textiles (MimoWork Laser).

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les principaux paramètres opérationnels d'une machine de gravure et de découpe laser sont le nombre de têtes laser, la zone de traitement disponible et la vitesse de traitement. De plus, le niveau de détail qu'il procure et la finition lisse du bord des coupes [9].

3.7. Machine à broder numérique

La technique de broderie est un type de broderie utilisé dans le monde entier pour embellir les textiles principalement à des fins décoratives et communicatives. Il consiste essentiellement à ajouter de la couleur, de la texture et de la dimension en appliquant différents fils, bien qu'il puisse également incorporer d'autres matériaux tels que des paillettes, des perles, des perles, etc. Typiquement, ce métier antique a été fait à la main et a été très consommé, donc aussi d'une valeur ajoutée élevée et coûteuse. Cependant, l'automatisation des processus textiles a conduit au développement de machines à broder pendant la révolution industrielle, et à d'autres étapes de la numérisation de ces machines, conduisant ainsi au concept de broderie numérique.

De nos jours, les machines à broder numérique peuvent avoir un haut niveau d'automatisation. Ainsi, lorsqu'elles sont équipées en conséquence, les machines actuelles sont capables de placer une paillette dans la position désirée et de la coudre, ou de poser des câbles de fibres dans des directions spécifiques tout en les cousant sur le support textile avec des fils auxiliaires, par exemple. Cependant, les machines à broder numérique les plus courantes fonctionnent avec le même point d'interverrouillage en boucle des machines à coudre conventionnelles (figure 11). Dans tous les cas, la broderie numérique est un processus CAD/CAM (Computer Aided Design/Manufacturing) qui commence avec un logiciel spécifique où l'utilisateur développe le design et définit les paramètres de broderie. Ensuite, le dessin numérisé est transféré à la machine à broder numérique, qui brode le dessin sur le tissu en peu de temps (selon la taille et la complexité du dessin).

Figure 11. Machine à broder numérique (Source CC0 Public Domain)

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Utilisations de la broderie numérique

L'utilisation principale de la broderie numérique est dans le domaine de la mode, pour les les vêtements, où est généralement utilisé dans l'incorporation de dessins et de motifs colorés esthétiques, ou logos, badges et marques héraldiques, sur des substrats de tissu ou de cuir (comme des décorations en casquettes, des t-shirts ou des sacs, par exemple. Cependant, la technique de broderie permet également l'intégration de fils fonctionnels, tels que conducteurs. Par conséquent, un des domaines d'application avec un potentiel plus élevé pour la broderie numérique est la conception de circuits brodés pour les e-textiles, mais aussi de capteurs résistifs, antennes, etc.

En outre, d'autres possibilités découlent de la technique en raison de leur capacité à obtenir des structures tridimensionnelles légères et de poser des fils dans toutes les directions. Par exemple, la broderie numérique peut également être utilisée pour la production de tissus avec des motifs d'un certain volume qui peuvent agir comme isolants sonores, thermiques et à chocs, ou pour la fixation de préformes orientées de câbles de fibres [4] pour produire des composites renforcés de fibres.

4. Équipement pour la conception de textiles

4.1. Logiciel de conception de vêtements 3D

Le logiciel de scanner corporel 3D est une application logicielle sophistiquée qui convertit les données visuelles en un modèle 3D. le modèle peut être utilisé pour diverses applications et peut être d'une grande utilité dans l'industrie de la mode et du vêtement. Le logiciel de scanner corporel 3D est l'acquisition de données à partir d'un scanner corporel 3D, est directement couplé avec ce dispositif et les deux sont généralement du même fournisseur. Alternativement, les données des mesures du corps humain peuvent être téléchargées dans le logiciel et un modèle 3D du corps sera également créé par le logiciel.

Un avatar réaliste et détaillé du corps humain est créé et des dispositifs spéciaux de vêtement comme des raccords et des simulations de drapage peuvent être simulés, ce qui permet des produits sur mesure.

Les avatars 3D créent une expérience client améliorée, car les clients peuvent virtuellement essayer des vêtements, ce qui réduit les retours, une fonctionnalité qui est très importante pour la tendance à venir de l'e-shopping. Cette option est également utile dans les magasins de détail, car elle élimine la nécessité de l'essai de vêtements par l'acheteur potentiel afin d'assurer un ajustement parfait. En outre, cette technologie permet de meilleurs vêtements sur mesure et réduit l'effort et le temps pour les tailleurs.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

4.2. Scanner corporel 3D

La technologie de balayage de corps 3D utilise plusieurs images d'un corps, afin de créer un avatar 3D du corps entier. La sortie est un fichier dans les formats .xls, .csv ou fichiers propriétaires qui vont être utilisés par des applications spécifiques pour la conception de vêtements. Les captures sont de l'ordre de quelques millions et sont prises par laser, ou des capteurs infrarouges en peu de temps (quelques minutes). L'objet scanné (p. ex., le corps humain) est placé dans un cadre qui contient les capteurs de légende. Les bases du balayage sont basées sur la triangulation de la lumière, et la lumière est généralement un rayonnement laser ou infrarouge.

Le scanner corporel fonctionne toujours en combinaison avec un logiciel, généralement du même fournisseur et la puissance et l'utilité du système dépendent à la fois du scanner et du logiciel.

Figure 12. Cabine du scanner corporel 3D [10]

4.3. Machine d'impression 3D

Le terme impression 3D ou fabrication additive désigne une variété de processus ascendants dans lesquels les couches de matériaux 2D sont lentement consolidées pour modéliser physiquement un volume 3D conçu numériquement. Par conséquent, il existe de multiples techniques d'impression 3D, basées sur différentes approches, telles que le dépôt de couches de matériaux (par ex., par extrusion thermoplastique), la solidification des couches de matériaux (par ex. par photopolymérisation) ou l'assemblage de couches de matériaux (p. ex., par soudage de métal ou frittage de poudre), habituellement. Cependant, l'une de ces méthodes est la plus courante en raison de sa simplicité, de sa disponibilité et de son faible coût : la modélisation des dépôts fusionnés (FDM)

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

qui utilise un filament thermoplastique comme matière première, également connue sous le nom de fabrication de filaments fusionnés (FFF).

Dans les imprimantes 3D FFF (figure 13), le filament thermoplastique est introduit dans une tête d'extrusion chauffée, responsable de la fusion du filament et de son dépôt sur le lit. À cette fin, la tête d'extrusion dispose d'un système de guidage capable de positionner la tête d'extrusion en tout point de la zone d'impression XY-plan, qui est limitée par la construction propre de l'appareil. Par conséquent, le dépôt continu du polymère fusionné avec la forme désirée permet d'obtenir une couche du volume 3D. Ensuite, pour produire la couche suivante, un déplacement dans la troisième dimension (axe Z) est nécessaire. Ceci est obtenu grâce à un déplacement vertical du lit ou du système de guidage de la tête d'extrusion, en fonction de la construction de la machine, bien que ce dernier soit le plus courant. Après le petit déplacement sur l'axe Z, une nouvelle couche de filament fusionné est déposée selon la forme désirée, formant une autre couche de l'objet imprimé en 3D. En répétant ces étapes, les couches suivantes sont déposées formant le volume 3D.

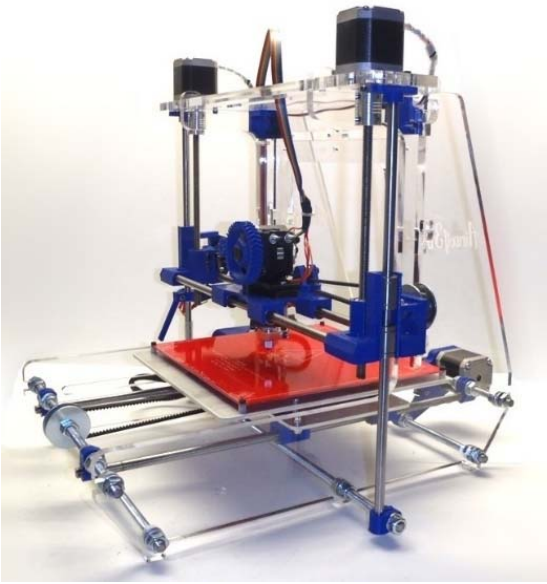


Figure 13. Imprimante 3D FFF (fabrication de filaments fusionnés) (Source Eva Wolf, CC BY-SA 3.0,https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19895987)

En général, les filaments utilisés sont constitués d'acide polylactique - PLA, d'acrylonitrile butadiène styrène - ABS, de polyéthylène téréphtalate glycol - PETG, ou de polyamide - PA, entre autres. Selon le matériau utilisé, certains paramètres doivent être ajustés. Par exemple, la plage de température d'impression varie en fonction de la nature du matériau du filament, certains matériaux nécessitent un lit chauffant pour éviter les déformations dans l'objet 3D, certains matériaux sont particulièrement difficiles à fixer dans le lit (mauvaise fixation et donc, mauvaise stabilité peut

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

entraîner une déformation et des défaillances dans la pièce imprimée) par conséquent des adhésifs spéciaux sont nécessaires, etc.

En outre, d'autres paramètres doivent être pris en compte dans l'impression 3D FFF, tels que : la résolution de l'imprimante, qui définit le degré de précision de l'objet imprimé, en particulier dans la surface ; le degré de remplissage (c.-à-d. à quel point le volume imprimé en 3D est-il solide ou dense à l'intérieur des murs extérieurs); la géométrie 3D elle-même, étant donné que l'impression en 3D permet de reproduire facilement des géométries qui ne seraient pas réalisables ou qui seraient trop coûteuses à fabriquer; ou même l'orientation de l'objet 3D pendant l'impression, car dans certains cas, il est nécessaire d'imprimer des structures auxiliaires pour résister à la structure pendant le processus propre (plus tard, ceux-ci sont supprimés).

Utilisation de l'impression 3D dans le domaine textile

L'impression 3D, comme le prototypage rapide et la technologie de production à petite échelle, est entrée dans de nombreux secteurs, de la médecine pour la production de prothèses sur mesure, à l'industrie pour la production de pièces spéciales de géométries impossibles. Cependant, en raison de la disponibilité des imprimantes 3D, de leur coût relativement faible et de leurs réglages faciles, l'impression 3D revêt une grande importance dans le concept de bricolage et constitue un outil approprié pour la personnalisation des produits.

Dans le domaine textile, l'impression 3D a été utilisée pour produire, entre autres :

- Structures de type tissu imprimé en 3D (p. ex., structures semblables à celles d'une « chaîne postale »)
- Vêtements de mode imprimés en 3D, avec certaines limitations dans le confort et qui sont, typiquement, seulement des couches décoratives ou structurelles du vêtement garnitures (comme des fermetures éclair, des boutons ou d'autres détails décoratifs) imprimées en 3D directement sur le support textile (casquettes, t-shits, robes, etc.), où le principal défi est d'assurer une bonne adhérence entre la garniture imprimée en 3D et le support en tissue.
- Semelles de chaussures (en fait, il y a des chaussures de sport disponibles sur le marché avec des semelles imprimées en 3D)

Malgré une certaine évolution de la technique et les matériaux sont encore nécessaires, cette technique a un grand potentiel pour la personnalisation des vêtements et aussi, en raison d'une utilisation optimale des matériaux (est considéré comme une technique zéro déchet), pour la conception alternative de vêtements durables.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

5. Équipement pour la caractérisation des textiles

5.1. Microscope électronique à balayage (MEB)

La microscopie est la technique qui permet l'observation élargie d'objets qui ne pouvaient pas être observés à l'œil nu. La technique de microscopie la plus typique est la microscopie optique, qui utilise la lumière visible et un système de lentilles pour générer une image agrandie de l'échantillon en observation. Cependant, la puissance d'agrandissement est limitée (environ 1000x) en raison des propres possibilités de résolution de la lumière visible. Par conséquent, pour obtenir de plus grands grossissements, un autre type de technique de microscopie est utilisé : la microscopie électronique, qui utilise un faisceau d'électrons comme source d'éclairage au lieu de la lumière visible (figure 14). La longueur d'onde des électrons peut être jusqu'à 100000 fois plus petite par rapport à la lumière visible (la plage de longueur d'onde de la lumière visible est comprise entre 400 et 750 nm), ce qui permet une résolution beaucoup plus élevée (donc des grossissements plus élevés).

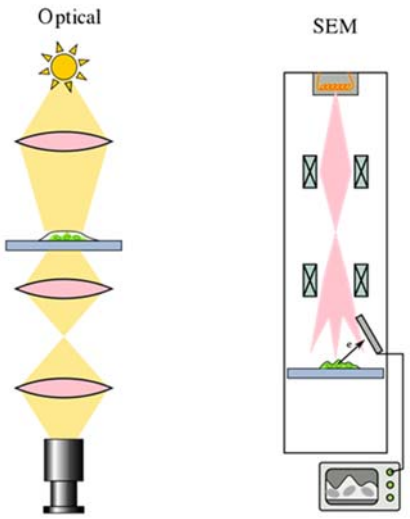


Figure 14. Microscopie optique et microscopie électronique à balayage (MEB) - adapté de [11]

Il existe deux principaux types de microscopes électroniques : le microscope électronique à transmission (TEM) et le microscope électronique à balayage (SEM). Le deuxième type, les SEM, sont ceux qui sont le plus couramment utilisés dans la recherche et également dans le contrôle de la qualité dans de multiples domaines (le secteur textile étant l'un à côté de ces domaines), car ils fournissent des observations topographiques de la surface de l'échantillon. Fondamentalement, un SEM échange la surface de l'échantillon en observation avec un faisceau d'électrons, qui est focalisé avec un système de lentilles électromagnétiques et guidé par des bobines de balayage. En raison de l'interaction du faisceau d'électrons avec l'échantillon, de nombreux signaux apparaissent en même temps : électrons secondaires, électrons rétrodiffusés, rayons X caractéristiques, etc. (Figure 15). Les informations et les images qui peuvent être obtenues avec un SEM dépendent des modules de détection disponibles dans l'équipement SEM, puisque chacun de ces signaux nécessite son propre système. Ces signaux sont traités par l'ordinateur de contrôle et affichés à l'écran en temps réel, bien que la qualité et la résolution de l'image dépendent de la fréquence de rastering, donc une fois la zone d'intérêt sélectionnée, la micrographie peut prendre quelques minutes à obtenir.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

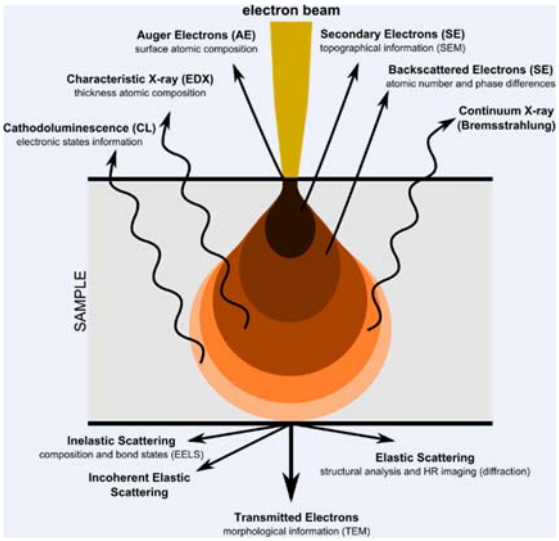


Figure 15. Diagramme illustrant les résultats de l'interaction des électrons hautement énergétiques avec la matière (Claudionico~commonswiki, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44224781).

La détection la plus élémentaire dans un MEB sont les électrons secondaires, qui fournissent l'information topographique de l'échantillon (c'est-à-dire la forme de sa surface). Cependant, très souvent, ils sont équipés de détecteurs d'électrons secondaires rétrodiffusés (BSEM) qui permettent de différencier les différences sur la composition de l'échantillon (contraste principalement élevé dû aux différences dans le nombre atomique); ou avec des modules de détection de rayons X qui permettent de déterminer la composition atomique des premiers nanomètres de la surface.

Il convient de mentionner que, pour une observation adéquate, les échantillons doivent être conducteurs électriquement et dans des conditions de vide adéquates. Cependant, l'étendue de ces deux conditions dépend fortement de l'équipement, de l'intensité du faisceau d'électrons (tension du canon à électrons), etc.

Utilisation du SEM dans le domaine textile

Comme mentionné précédemment, le SEM s'applique à de nombreux champs. En R&D textile, le SEM a également de multiples applications : observer la topographie des fibres, ou la régularité d'une finition appliquée à un tissu, ou l'enchevêtrement des fibres dans un non-tissé, ou la topographie d'une membrane nanofibre produite par filage électrique ; vérifier la forme et la distribution correctes des microcapsules, ou du processus de calandrage d'un tissu; déterminer si un traitement chimique a endommagé la surface des fibres, ou l'adhérence entre la matrice et les fibres dans un composite, etc.

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] J. Gatford (2008, September 8). *Electrospinning Diagram*. The New Zealand Institute for Plant and Food Research Ltd through Wikimedia Commons. [Online]. Disponible sur :https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5521755[Consulté : Juillet 2, 2021].

[2] J.S. Park, "Electrospinning and its applications", *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 1, No. 4, 2010, [Online]. Disponible sur : https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2043-6262/1/4/043002 [Consulté : Juillet 2, 2021].

[3] *New-ingeo-fiber-grades png.png*. 4FFF through Wikimedia Commons. Online]. Disponible sur :https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=49183978 [Consulté : Juillet 2, 2021].

[4] S. Ramakrishna, K. Fujihara, W.-E. Teo, T. Yong, Z. Ma, and R. Ramaseshan, "Electrospun nanofibers: solving global issues," Mater. Today, vol. 9, no. 3, pp. 40–50, Mar. 2006.

[5] K. C. Dutton, "Uses of electrospun nanofiber membranes," J. Text. Apparel, Technol. Manag., vol. 6, no. 1, pp. 1–24, 2008.

[6] B. C. Kim, K. Hazra, P. Weaver, and K. Potter, "Limitations of fibre placement techniques for variable angle tow composites and their process-induced defects," in ICCM International Conferences on Composite Materials, 2011.

[7] The Book of Graphic arts (in Greek). [Online]. Disponible sur : https://www.graphicarts.gr/enimerosi/arthra-themata/metafora-i-apeutheias-ektuposi-me-thermiki-exaxnosi-poia-einai-i-kaluteri-methodos# [Consulté : Octobre 5, 2021]

[8] J. Lamb, Choosing a Sublimation Heat Press, Impressions Magazine. [Online]. Disponible sur :https://impressionsmagazine.com/digital-decorating/sublimation/choosing-a-sublimation-heat-press/[Consulté : Octobre 10, 2021]

[9] Company News (2017-03-14). *Laser cutting/engraving application in feather and textile industry*. Bodor Laser Co, [Online]. Disponible sur : https://www.bodor.com/en/news/company/113.html?&&9061578&x&c&gclid=CjwKCAiAm7OMBhAQEiwArvGi3Pra1D5NwsZVhHgEaQ_3oX3mfIR1aqgoJfY5lfJaOGqzq9QdDK-hVRoCGtcQAvD_BwE, 10/10/2021[Consulté : Octobre 10, 2021]

[10]Tg3d Digitally Empowering Fashion. *3D Body Scanner for virtual measurements & 3D avatars*. Tg3d Digitally Empowering Fashion. [Online]. Disponible sur : https://www.tg3ds.com/3d-body-scanner [Consulté : Septembre 29, 2021].

[11]F. Dominec (2008). *File:MicroscopesOverview.svg*. Wikimedia commons. [Online]. Disponible sur : https://www.tg3ds.com/3d-body-scanner [Consulté : September 3, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la commission européenne. Cette publication reflète uniqueme les opinions de l'auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Unité 4 : Le design de mode comme vecteur de promotion et de differentiation

Traduit par :
Leila MEDDEB, Jihen KRAIEM, Radhia FENDRI, Fadhel JAAFAR
ISMM

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Contenu

Contenu 220

Cours 4.1. Le stylisme de mode digital- Systèmes CAO/ FAO 223

1. Introduction 223

1.1. Le stylisme de mode 223

1.2. Stylisme de mode utilisant la CAO - généralités sur le sujet 224

2. Les systems CAO – Principes généraux (Conception et fabrication) 225

3. Les Technologies Internet dans la création de mode et la valorisation de la créativité 230

3.1. Exploitation de l'Internet pour le design de mode et l'analyse des tendances 230

3.2. Magasins en ligne des articles de mode : 232

3.3. Cabine virtuelle d'essayage (magasins de vêtements en ligne) 234

Références: 236

Questions pour l'évaluation du cours 238

Cours 4.2. Technique d'impression textile Digitale 239

1. Introduction 239

2. Aperçu de l'impression numérique à jet d'encre 241

2.1. Processus de production d'une impression numérique à jet d'encre 242

3. Machines d'impression numérique à jet d'encre 243

3.1. Jet d'encre continu 244

3.2. Jet d'encre au compte-gouttes 246

4. Encres pour impression digitale 247

4.1. Colorants réactifs 249

4.2. Colorants acides 249

4.3. Colorants de dispersion 250

4.4. Colorants pour sublimation 250

4.5. Pigments 250

4.6. Autres 251

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

5. Supports en tissu pour l'impression digitale 252
5.1. Prétraitements des tissus 252
5.1.1. Coton et autres produits cellulosiques 253
5.1.2. Laine et soie 254
5.1.3. Polyamide 254
5.1.4. Polyester 254
5.1.5. Autres 255
5.2. Post-traitements des tissus 255
6. Le pouvoir de l'impression numérique dans le domaine de la mode 256
6.1. Facteurs clés 257
6.2. Défis 258
Références 259
Questions pour l'évaluation du cours 262
Cours 4.3. Le rôle des accessoires, des articles fonctionnels et des emballages dans la différenciation des vêtements, en intégrant les vêtements, le cuir et les bijoux 263
1. Différenciation des produits 263
2. La stratégie de marque ou le "branding" dans la mode 265
3. Bijoux brodés 266
4. Allier le cuir avec le textile 268
5. Accessoires 270
5.1. Boucles 270
5.2. Boutons 270
5.3. Tirettes de fermeture éclair 271
5.4. Rubans, bandes et tresses 271
5.5. Dentelles 271
5.6. Glands 271
5.7. Chaînes décoratives 272
5.8. Étiquettes 272
5.9. Les étiquettes accrochées 273
6. Emballage 273

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

7. Matériaux complémentaires 274
8. Exprimez les valeurs de votre marque avec du texte 274
References 275
Questions pour l'évaluation du cours 278
Cours 4.4. Concevoir dans la haute couture et les secteurs spéciaux 279
1. Méthodologie de conception 279
2. Articles de haute couture 281
3. Vêtements pour enfants 282
4. Lingerie 283
5. Bonneterie 286
6. Sous-vêtements fonctionnels et vêtements de sport 288
7. Différenciation par la technologie 290
Références 292
Questions pour l'évaluation du cours 294

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 4.1. Le stylisme de mode digital- Systèmes CAO/ FAO

George Priniotakis, Eleni Gialinou
University of West Attica (UNIWA)

1. Introduction

Le stylisme numérique est une branche de l'industrie textile qui comprend la création de vêtements et d'accessoires, en se servant de la technologie informatique et en suivant les tendances actuelles de la mode. Il s'agit de la manière de transformer les inspirations en produits industriels. Cette unité d'apprentissage présente tous les termes pertinents, comme "design de mode", "conception assistée par ordinateur", "développement d'une collection à l'aide de la CAO", "boutiques de vêtements en ligne", "essayage virtuel", etc. L'exploitation des systèmes de CAO est analysée en se référant à l'efficacité de leur application au niveau industriel.

En raison des conditions de la pandémie COVID 19, on a constaté une hausse importante de la demande pour les magasins de vêtements en ligne. Nous allons donc nous concentrer sur les applications en ligne liées à la création de mode et sur les divers aspects liés aux magasins de vêtements en ligne.

1.1. Le stylisme de mode

Selon Wikipédia [6], le terme courant de "design de mode" est le suivant :

Le design de mode est l'art d'appliquer le design, l'esthétique, la construction des vêtements et la beauté naturelle aux vêtements et aux accessoires. Il est influencé par la culture et les diverses tendances, et a varié dans le temps et l'espace. "Un créateur de mode conçoit des vêtements, y compris des robes, des costumes, des pantalons et des jupes, ainsi des accessoires comme des chaussures et des sacs à main, pour les consommateurs".

Elle constitue une branche spécialisée de l'industrie du textile et de l'habillement et a pour objet principal la conception de vêtements et d'accessoires.

Il se divise généralement en plusieurs domaines d'activité, comme :

- La prévision de la mode ;
- La communication des tendances de la mode ;
- Exposer des concepts et des inspirations ;
- La conception de tissus (dessin/motif/structures) ;
- Conception de vêtements et d'accessoires ;

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Détermination des paramètres techniques pour la fabrication des vêtements et des accessoires.
- Marketing-Promotion des produits de mode.
- Commercialisation-Promotion des produits de mode.

De nos jours, le terme "stylisme" désigne le plus souvent le "stylisme numérique". La mode numérique est la représentation de vêtements et d'accessoires, à l`aide de la technologie informatique (TIC).

La mode numérique est l'interaction entre la technologie numérique et la fabrication de produits. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) ont été profondément intégrées à la fois dans l'industrie de la mode et dans les expériences des clients.

Figure 1. Échantillons de tissus et palettes de couleurs pour le stylisme (Source: https://www.pexels.com/)

Cette interaction s'est produite sur trois principaux niveaux [7]. Les TIC sont appliquées à la conception et à la production de produits de mode, tandis que la fabrication industrielle s'appuie sur les technologies numériques.

- les TIC ont un impact sur le marketing, la distribution et la vente des produits
- les TIC sont amplement utilisées dans les activités de communication avec toutes les parties prenantes et contribuent à la co-création du monde de la mode.

1.2. Stylisme de mode utilisant la CAO - généralités sur le sujet

Les différents systèmes de conception assistée par ordinateur (CAO) constituent l'outil de base du stylisme numérique, et ce de manière plus analytique [1]:

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- un outil très utile pour la création et la présentation de produits de mode avant leur apparition dans l'industrie de la mode,
- un outil créatif, dans la mesure où il fournit à l'utilisateur, mis à part les outils de conception, de nombreuses bibliothèques et palettes, de sorte que le styliste ait également la possibilité d'importer de nouvelles bibliothèques avec les tendances actuelles chaque saison, et d'adapter ainsi, les inspirations et les aptitudes, aux variations continues dans l'industrie mondiale de la mode.
- la base de la mise en œuvre des nouvelles technologies de développement du design, de sélection des matériaux et des couleurs, de la planification des étapes de fabrication et de la distribution des nouvelles collections;
- un outil pour adapter leur point de vue évolutif en matière de conception et leur esthétique personnalisée à des nouveaux défis de différents types;
- grâce au développement de la conception assistée par ordinateur, les designers peuvent créer des collections de vêtements numériques et des réalisations basées sur l'analyse des tendances et des études de marché. Il faut noter que même avec l'utilisation de logiciels usuels de conception, les utilisateurs peuvent développer des gammes de couleurs et concevoir des produits de mode.

L'application des systèmes de CAO/FAO [1] est considérée comme une étape importante pour faire face aux changements constants dans l'industrie du textile et de la mode. Les avantages de la CAO/FAO utilisée dans une unité industrielle sont notamment les suivants:

● Amélioration de la précision (le concepteur peut zoomer et éditer dans n'importe quelle zone du dessin).
● Forte polyvalence dans le stockage d'un large nombre de motifs et de dessins.
● Des possibilités considérables dans la présentation des collections/projets.
● Remarquable hausse de la productivité en matière de total.

2. Les systems CAO – Principes généraux (Conception et fabrication)

Il existe de nombreux systèmes de CAO, qui sont utilisés à toutes les phases du stylisme et de la fabrication de vêtements au niveau industriel. Il est donc fait référence à la contribution des systèmes de CAO à chaque étape de la conception et de la fabrication :

- **Création du moodboard (présentation du concept)** : Lorsque ce panneau d'inspiration est créé à l'aide d'un logiciel spécialisé, il existe de nombreux outils et bases de données, de telle sorte à créer des aboutissements impressionnants pour la présentation du concept. Les programmes les plus sophistiqués fournissent différents modèles comme une base pour les objets qui constituent les différents éléments d'inspiration.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- **Conception de tissus :** la création de motifs, de structures et d'impressions de tissus à l'aide de filtres, de bibliothèques et d'outils de conception exceptionnels. Ils peuvent être utilisés uniquement pour la présentation de la collection ou en association avec des fiches pour les spécifications techniques et les paramètres qui sont nécessaires à la production de la conception de tissu à laquelle ils correspondent.
- **Conception de vêtements (croquis technique) :** Conception des styles de vêtements, qui constituent la collection sous forme de modèle et de croquis technique. Les modèles peuvent ensuite être édités afin d'être colorés ou imprimés, en se servant des outils et des bibliothèques appropriés du programme. En général, un programme spécifique est utilisé pour la création du motif de tissu. Les croquis techniques des vêtements sous forme plate constituent une partie essentielle de la fiche technique du vêtement, car ils indiquent toutes les informations techniques utiles, telles que la position des parties accessoires, le style des coutures, le nombre de plis, etc. pour que le vêtement puisse être fabriqué conformément au modèle. Les paramètres techniques des dessins sont exprimés sous la forme appropriée avec la meilleure précision possible en utilisant des programmes de CAO, de façon à ce qu'ils soient complets pour le staff de production.

Figure 2. Dessin de mode [Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fashion_Sketches.jpg]

Les procédures de **façonnage de vêtements** peuvent être réalisées à l'aide de logiciels de CAO dans les opérations suivantes:

- **Patron de conception**, un logiciel qui fournit tous les outils nécessaires pour manœuvrer toutes les parties du vêtement sous forme graphique avec des fonctionnalités infinies de stockage du patron en différentes variations, telles que la création de plusieurs nouvelles lignes en utilisant la

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

même forme de base, la modification des surplus de couture, l'ajout de plis ou de parties auxiliaires / décoratives. Grâce à ces logiciels, il est possible de concevoir le patron d'une nouvelle collection de différentes manières

a. Création de motifs **à l'aide de scratch**
b. Créer un motif à partir d'un **fichier existant**
c. Importation d'un motif imprimé à l'aide d'une tablette de numérique (le motif est affiché dans la zone graphique du programme en tant que composant d'interaction, après avoir indiqué les points qui définissent la structure géométrique du motif à partir d'un outil approprié).

- Conception de **différentes tailles** de vêtements: En effet, l'utilisateur a la possibilité de créer de manière très pratique les diverses tailles des vêtements. Après la finalisation du patron de base, les points de la conception appropriés sont définis de manière à générer les autres tailles du patron.
  - **Découpe des patrons** - mise en place des pièces du vêtement sur la table de découpe: Après avoir produit toutes les pièces de toutes les tailles, sur lesquelles portera le planning de production, les patrons sont générés dans un programme séparé qui simule la table de coupe, afin de trouver la façon la plus efficace de poser les pièces. Il existe de multiples contraintes, qui dépendent des particularités du tissu et des pièces, ce qui rend la procédure extrêmement complexe. De tels programmes disposent d'un algorithme qui exécute les tâches appropriées et propose la solution la plus appropriée à chaque cas.

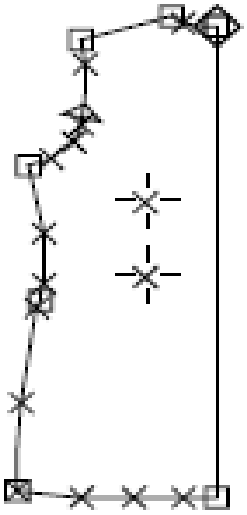


Figure 3. Exemple de la mise en place des coordonnées d'un motif via la tablette numérique

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

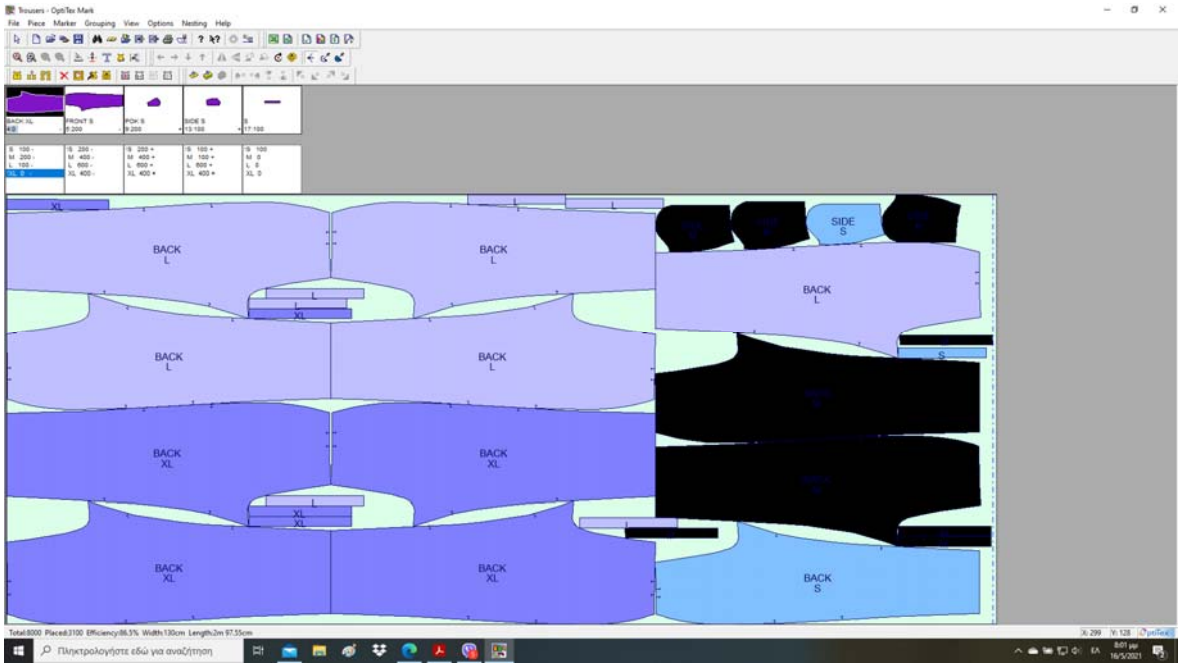


Figure 4. Simulation de la mise en place des pièces du vêtement sur la table de coupe (exemple)

- **couture virtuelle** du vêtement : il s'agit d'une opportunité de stimuler la couture du vêtement, afin d'apporter les modifications et les ajustements nécessaires à la confection parfaite du produit. Pour réaliser cette étape, il existe quelques critères techniques essentiels:
    a. Création du modèle paramétré avec les dimensions corporelles souhaitées, et ce en tenant compte de la cible de la collection.
    b. La definition de tous les paramètres techniques relatifs à la confection des pièces.

Dans les images suivantes nous présentons deux exemples de couture virtuelle. La première est le résultat de la saisie correcte des critères de couture et la deuxième est la version incorrecte, de manière à bien comprendre la logique de cette procédure.

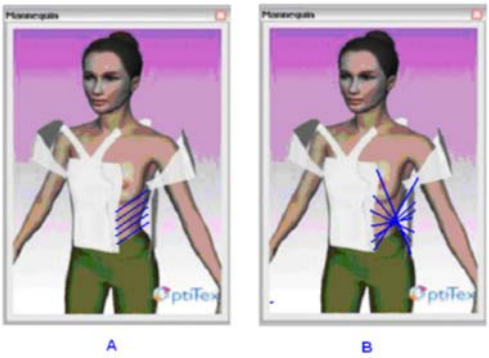


Figure 5. Couture du buste virtuel: Bonne (a) versus Mauvaise (b)définition des paramètres

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

c. Définition de tous les critères techniques du tissu : La confection du tissu sur le corps est tributaire des propriétés physico-mécaniques des tissus, comme le poids, la résistance à l'étirement, au cisaillement et à la flexion, l'épaisseur [3]. La définition de ces paramètres est donc considérée comme essentielle pour la confection du vêtement.

d. Une fois la simulation de la couture réalisée, le résultat est visible sur l'écran du PC. La majorité des logiciels offrent la possibilité d'effectuer des modifications/ajustements sur le vêtement, qui est monté sur le modèle 3D, de manière à atteindre le meilleur ajustement possible et de faire en sorte que ces modifications interfèrent avec les motifs du vêtement.

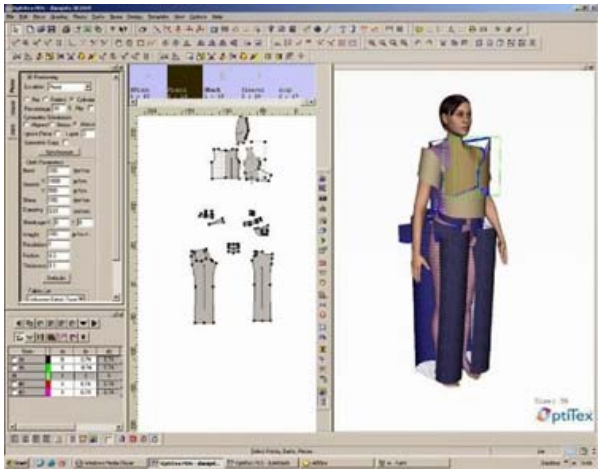


Figure 6. Couture virtuelle du modèle de vêtement sur le mannequin

L'utilisation de ces fonctionnalités dans un environnement industriel permet de remédier à un grand nombre de problèmes avant qu'ils ne se concrétisent [8]. Comme mentionné précédemment, il est possible de tester le montage des pièces avant de couper ou de coudre les prototypes, ce qui limite la marge de manœuvre pour les erreurs. En outre, il existe un avantage financier colossal en termes de moyens qui se répercute sur le prix du produit final et la mise en œuvre de stratégies respectueuses de l'environnement.

À titre indicatif, ils sont désignés sous le nom de logiciels de CAO pour le dessin de la mode et la création de vêtements:

Tableau 1. Les logiciels CAD utilisés

Logiciel	Compagnie	Information
Kaledo Style	Lectra	Design de mode
Corel Draw	Corel	Design de mode
Mind Clichet Software	Indel	Logiciel de mise en place pour optimaliser le temps et limiter la chute de tissu

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Accumark	Gerber	création de patronages nouvelle génération destiné à l'industrie de la mode et de l'habillement

3. Les Technologies Internet dans la création de mode et la valorisation de la créativité

Au cours des dernières années, les technologies de l'Internet ont joué un rôle majeur dans le domaine de la conception et des accessoires de mode et de vêtements, que ce soit comme moyen de communication avec le monde de la mode et du commerce en général, ou comme instrument de promotion. On parle d'un "outil" très pratique pour:

- anticiper les défis comme vous avez une perception réaliste du marché de la mode, et ainsi envisager des pistes de réflexion dans les différents systèmes de mode actuels;
- concevoir des produits durables résultant de l'analyse du marché sur le plan international ;
- réaliser une étude de la durabilité d'un produit en particulier avant sa fabrication, puisque l'Internet propose une perspective concrète permettant de réduire les risques pour l'entreprise.

A titre indicatif, au cours de la présente session de formation, ils vous seront présentés:

1. Utilisation d'Internet pour la création de mode pour analyser les tendances
2. Les boutiques de vêtements en ligne
3. Cabine d'essayage virtuelle (magasins de vêtements en ligne).

3.1. Exploitation de l'Internet pour le design de mode et l'analyse des tendances

Les **sources des informations** sur les tendances de la mode sont des prévisions de mode et tout le matériel approprié téléchargé sur les sites Internet spécialisés (prévisions sur les couleurs de la saison, informations des nouveaux styles, et de manière générale toute information qui montre la direction actuelle du marché). Les sites **les plus utilisés** sont les suivants:

- Sites web spécialisés dans la prévision des tendances;
- Les magazines de mode;
- Les défilés de mode;
- Les blogs de street style;
- Les médias sociaux;
- Les salons/expositions de mode.

Il existe respectivement de nombreux sites dédiés à la prévision des couleurs, parmi lesquels les suivants:

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- www.wgsn.com
- www.fashionsnoops.com
- www.fashiontrendsetter.com
- www.peclersparis.com
- www.trendstop.com
- https://wwd.com
- www.fashioninformation.com

Respectivement, il existe de nombreux sites web traitant la prévision des couleurs, ci-après quelques exemples:

- www.pantone.com
- www.colourassociation.com
- www.colourportfolio.com
- https://colourhive.com/
- www.design-options.com
- www.fashionforecastservices.com.au

Après avoir analysé les tendances et les études de marché pertinentes, le designer dispose du background nécessaire pour réaliser le moodboard de la collection. Un moodboard est un collage ou une composition d'images, de visuels et tout autre objet qui participe à la visualisation du concept. Le moodboard est un panneau qui exprime le thème principal à l'aide d'une collection d'idées inspirantes, comme les photos (modèles vintage, paysages, éléments de décoration), les couleurs, les matériaux et les textures qui tournent autour du thème sélectionné et qui sont présentés de manière passionnante et révélatrice. Ces informations sont généralement regroupées sur une même planche en vue de mettre en évidence les éléments essentiels liés aux thèmes en question.

Il s'agit d'un excellent outil pour exprimer un concept lors d'une présentation à un client, à des collaborateurs ou encore pour un besoin personnel, en guise de synthèse de l'inspiration en amont de la phase de conception. Le Moodboard reflète d'une manière ou d'une autre le style de la collection, et doit donc comporter au moins quelques éléments de base, tels que:

- De l'humeur en général;
- Le style de vie du groupe cible principal;
- Les couleurs - les palettes de couleurs;
- Les matières (tissus et accessoires).

Un moodboard peut être sous forme papier ou digitale. Naturellement, il peut être créé à l'aide de divers programmes de conception graphique, toutefois les logiciels spécialisés offrent les modèles, outils et bibliothèques nécessaires à une meilleure visualisation. Chaque gabarit dispose du tracé de la géométrie des composantes, ce qui permet à son auteur de concevoir un moodboard

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

impressionnant, en se contentant d'importer les images nécessaires en effectuant quelques modifications sur le fond.

Figure 7. Un exemple de moodboard

En dehors des logiciels spécialisés, il existe également des sites permettant de se familiariser à la création de moodboards numériques.

3.2. Magasins en ligne des articles de mode :

Ces dernières années, l'utilisation de l'internet a fortement augmenté. Les besoins de la vie moderne et simultanément l'expansion de son utilisation dans toutes les activités humaines ont fait naître de nouveaux horizons. Au cours des deux dernières décennies, les magasins de vêtements en ligne ont vu leur clientèle augmenter. Il convient de noter que les premiers magasins de vêtements en ligne ont vu le jour dans les années 90, tandis que leur véritable utilisation a débuté dans les années 2000.

Selon de nombreuses enquêtes, les usagers privilégient les achats en ligne en raison de:

- la possibilité d'y accéder facilement à tout moment de la journée
- la diversité des options,
- les prix attractifs dans de très nombreux domaines.

Les désavantages des magasins en ligne sont:

- Le coût et le délai de livraison des produits.
- Les procédures de réalisation d'une commande compliquée.
- Les modes de paiement disponibles.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Une vente en ligne de vêtements classique a le fonctionnement standard d'une boutique en ligne, mais comporte quelques spécificités telles que:

- Des photos du produit à plat
- Des photos de l'article exposé sur un mannequin (afin que le client puisse avoir une idée de la façon dont le vêtement est exposé/drapant)
- Choix possible de la taille dans la plupart des cas
- Possibilité de choisir la couleur/le motif du vêtement dans la plupart des cas

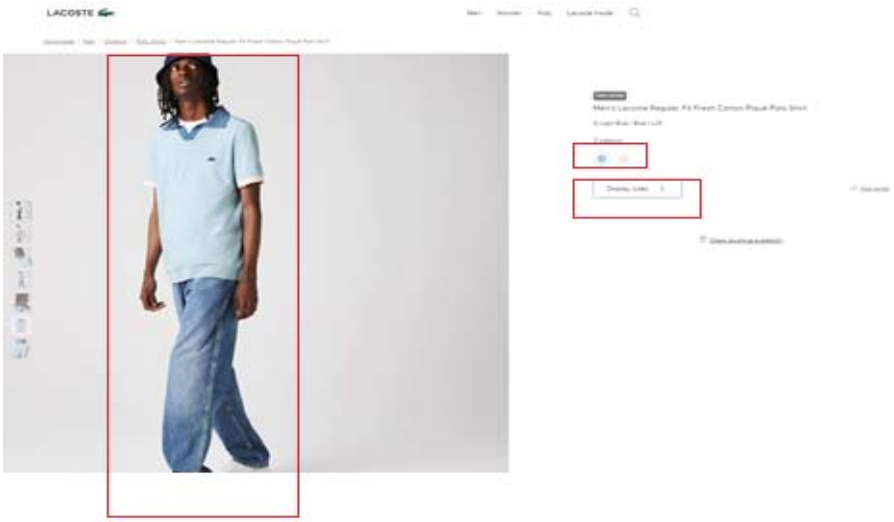
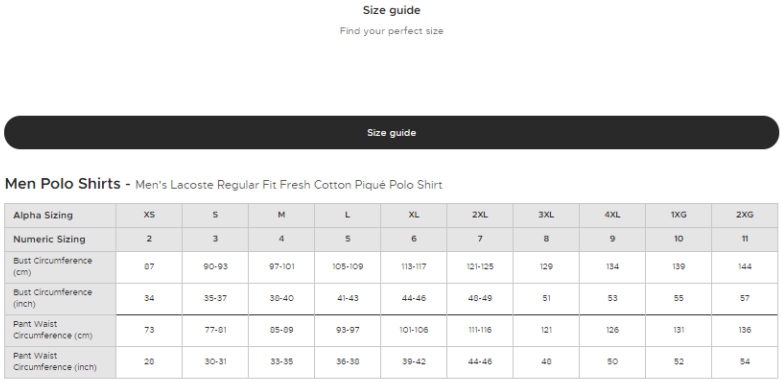


Figure 8. Exemple de boutique de vêtements en ligne : Un vêtement essayé sur un modèle - disponibilité des couleurs de tissu et des tailles du vêtement [Source: https://global.lacoste.com/en/lacoste/men/clothing/polo-shirts/short-sleeves/men's-lacoste-regular-fit-fresh-cotton-pique-polo-shirt/PH9705-00.html?colour=LU5]

Pour que le visiteur/client puisse disposer de tous ces moyens, ils utilisent des bases de données étendues, dont le fonctionnement n'est pas si compliqué.



Size guide

Find your perfect size

Size guide

Men Polo Shirts - Men's Lacoste Regular Fit Fresh Cotton Piqué Polo Shirt

Alpha Sizing	XS	S	M	L	XL	2XL	3XL	4XL	1XG	2XG
Numeric Sizing	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bust Circumference (cm)	87	90-93	97-101	105-109	113-117	121-125	129	134	139	144
Bust Circumference (inch)	34	35-37	38-40	41-43	44-46	46-49	51	53	55	57
Pant Waist Circumference (cm)	73	77-81	85-89	93-97	101-106	111-116	121	126	131	136
Pant Waist Circumference (inch)	28	30-31	33-35	36-38	39-42	44-46	48	50	52	54

Figure 9. Exemple de boutique de vêtements en ligne : Choix de la taille souhaitée

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3.3. Cabine virtuelle d'essayage (magasins de vêtements en ligne)

Si l'on considère le magasin de vêtements en ligne comme un "système", la chose devient plus compliquée quand l'entreprise met à la disposition du client une cabine d'essayage virtuelle. Ce système nécessite des bases de données larges ainsi que des algorithmes sophistiqués.

Lorsque l'on propose une " cabine d'essayage " virtuelle, la boutique de vêtements en ligne est conçue comme une application basée sur le Web, dont les exigences sont élevées pour pouvoir répondre aux spécifications élevées d'une telle application [3], à savoir:

- Manipulation de différents objets en toute flexibilité (modèle de silhouette, motif du vêtement, adaptation du modèle aux mensurations du client, etc.)
- Une rapidité extrême, pour favoriser la réactivité en temps réel aux choix de la clientèle.
- Stockage efficient de bases de données volumineuses.

La création du **corps configuré**, adapté aux mesures personnelles du visiteur, constitue l'un des principaux objectifs du développement d'un tel système, dans le but de simuler.

- La toute première façon d'y parvenir est de recourir à un scanner corporel 3d, mais ce genre de procédé requiert la présence du client sur les sites réels du magasin/de l'entreprise.
- Un autre moyen plus adapté est la création en ligne du mannequin conformément aux mensurations corporelles communiquées par le client.

La forme finale du modèle provient d'un prétraitement, et ce,afin de réduire le temps de réponse. Cela signifie que l'on a calculé des combinaisons de paramètres prêtes à l'emploi et que les résultats ont été stockés dans une base de données.

Afin de **réaliser la simulation** du vêtement essayé sur un corps humain, le duo "modèle-vêtement" doit être calculé en fonction des propriétés mécaniques du tissu et du vêtement. Selon Frédéric Cordier et al [4], le tissu est fragmenté en plusieurs sections, où différents algorithmes sont appliqués, afin d'obtenir une simulation réaliste du mouvement du corps en portant le vêtement choisi. En traitant la façon dont le vêtement se drape ou s'adapte au corps humain, on distingue les trois catégories suivantes:

a. Le vêtement s'adapte au corps comme s'il "collait" à sa surface, de sorte que le tissu suit parfaitement les mouvements du corps.
b. Le vêtement circule autour du corps, le mouvement du corps a donc une influence différente sur le mouvement du vêtement. Par exemple, dans le cas d'une jupe longue, le côté gauche de la jupe peut entrer en collision avec les jambes droites.
c. Une catégorie plus compliquée est celle des parties du vêtement qui se déplacent à une certaine distance du corps (par exemple, les manches de chemise), de sorte que la partie

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

spécifique du vêtement a un mouvement limité en fonction du mouvement de la partie spécifique du corps.

Par conséquent [5], il est utilisé un modèle (corps humain) et un modèle de vêtement drapé, qui sont présentés comme entrées et ainsi un modèle humain virtuel unifié, comprenant un maillage, une texture, et des skinning weights selon une résolution de maillage et de texture donnée.

Figure 10. Cartographie des sommets invisibles de la "maille de tissu" [5]

Comme il a été mentionné dans la section précédente, les propriétés mécaniques du tissu ont un rôle déterminant dans le raccord du vêtement sur le modèle paramétrique, pour que la simulation soit réaliste. Ainsi, il existe un algorithme qui manipule la résistance du tissu sur le corps et utilise des couleurs spécifiques pour indiquer les zones lâches et les zones serrées (dans la figure suivante, les zones serrées sont colorées en rouge):

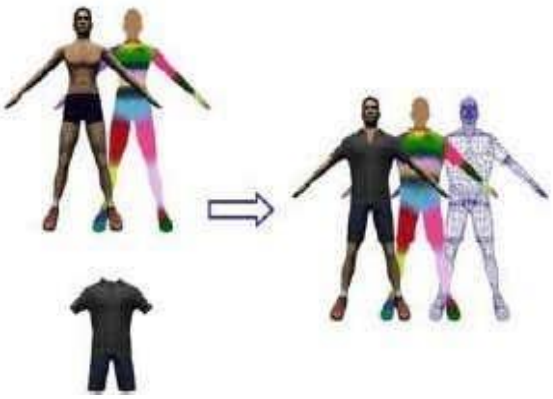


Figure 11. Génération automatique d'un humain virtuel habillé à partir d'un modèle de corps et d'un modèle de vêtement [5]

En dépit du fait que les technologies avancées fassent partie de notre vie quotidienne, il est évident que les clients-visiteurs potentiels doivent encore se familiariser avec des applications tels que l'essayage virtuel et leur faire confiance, ce qui demeure en deçà des attentes jusqu'au présent. Les

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

nouvelles circonstances découlant de la pandémie de Covid-19 ont créé la nécessité de déployer autant d'activités que possible, via Internet, de sorte que la demande des clients pour de telles applications commence à augmenter.

Figure 12. Ajustement du vêtement sur le modèle [Source: User Guide of Optitex PDS -Grading Module Version 9.2]

D'autre part, les systèmes de CAO utilisés dans l'industrie du textile et de l'habillement pour le stylisme et la fabrication de vêtements ont sans aucun doute un rôle potentiel et déterminant dans la mesure où ils représentent les prérequis pour le fonctionnement de ces unités industrielles..

Références:

[1] FIT. *Fabric Styling*. State University of New York. [Online]. Disponible sur : https://www.fitnyc.edu/fabric-styling/index.php, [Consulté: Avril 26, 2021].

[2] SCL Team (2020, Dec. 24), *Fashion Design Software & Apparel Manufacturing CAD Systems List 2021 + All About Clothing Design Software Programs + Reviews*, Starting a clothing line, [Online]. Disponible sur : https://startingaclothingline.com/best-fashion-design-software/ [Consulté: Avril 27, 2021].

[3] F. Cordier et al, "*Virtual Try on technologies for an online Clothing store*", Proceedings of the Conference on "3d Body Scanning & Virtual try-on systems", p.7, 2003.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[4] F. Cordier et al., "*Real-time Animation of Dressed Virtual Humans*", The Eurographics Association and Blackwell Publishers, 2002.

[5] S. Oh et al., "*Generating unified model for dressed virtual humans*", The Visual Computer 21(8-10), pp. 522-531, 2005.

[6] Articles. *Fashion Design.* Wikipedia. [Online] Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Fashion_design [Consulté : Avril 7, 2021].

[7] Wikipedia. *Digital Fashion.* Wikipedia the Free Encyclopedia. [Online]. Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_fashion [Consulté : Avril 05, 2021].

[8] G. Zadikoff, A. Bleiweiss, "*A complete solution for virtual try-on and fitting*", Proceedings of the Conference "3D Body Scanning & Virtual Try-on Systems", p. 27, 2003.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1: L'exploitation des systèmes de CAO/FAO contribue à :

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois propositions ci-dessous.

a) L'augmentation de la productivité au total.
b) Pour le dessin de mode exclusivement.
c) Seulement pour la simulation du montage des vêtements.

Question 2: Les propriétés mécaniques des tissus:

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois propositions ci-dessous.

a) Jouent un rôle fatal dans la simulation de la couture des vêtements.
b) Ont une incidence sur l'etape du stylisme de mode.
c) Constituent un élément de base lors de la conception du modèle paramétrique.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 4.2. Technique d'impression textile Digitale

Diana Cayuela, Mònica Ardanuy, Heura Ventura
UPC

1. Introduction

En général, la principale différence entre la teinture et l'impression est que, dans la teinture, la couleur est appliquée à l'ensemble des deux faces du tissu, tandis que dans l'impression, la couleur est appliquée sur des zones localisées d'une seule face du tissu pour suggérer un effet visuel artisique.

Selon le style duquel la conception est développée, les systèmes d'impression peuvent être groupés en trois catégories:

- *Impression directe*: le pigment ou le colorant est appliqué sur le tissu en une seule opération, au moyen de nombreux systèmes d'impression, de la plus ancienne impression sur bois à la plus récente impression numérique (Figure 1 à gauche).
- *Impression par décharge*: les tissus sont initialement teints en une couleur, en imprimant un agent destructeur de couleur qui blanchit la teinture initiale dans les zones sélectionnées (Figure 1 au milieu).
- *Impression par réserve*: la pénétration du colorant dans le tissu est limitée, ce qui suggére des zones non teintes formant un effet design. Cela peut être obtenu en imprimant des pâtes de réserve ou en liant fortement certaines parties du tissu comme étape préalable au processus de teinture (Figure 1 à droite).

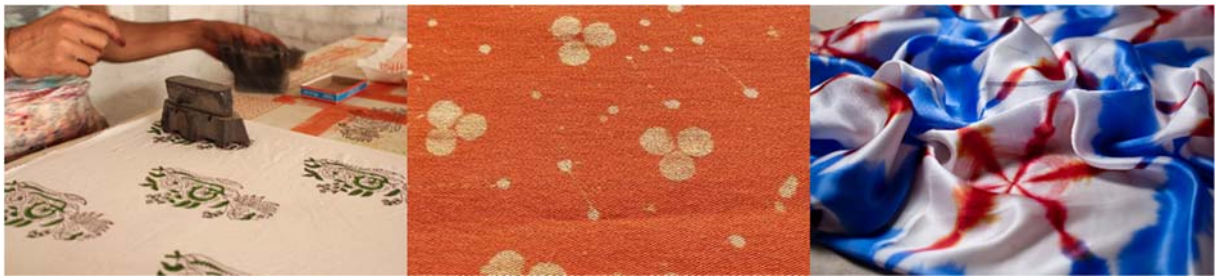


Figure 1. Systèmes d'impression : impression directe (Image credit: Pujadm, https://pixabay.com/es/photos/impresi%c3%b3n-textiles-colorantes-453747/)(left), impression par décharge (centre), et impression par réserve (Crédit image Maadhuri https://www.pexels.com/photo/white-red-and-blue-textile-2933650/)(gauche).

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Toutefois, avant l'application de la couleur, tous les procédés d'impression nécessitent des prétraitements du tissu pour garantir que les substrats du tissu sont exempts de fonds uniformes d'impuretés. Il est donc nécessaire de procéder à des prétraitements appropriés des tissus. Dans le cas contraire, une préparation inadéquate du tissu peut entraîner de nombreux problèmes d'impression. Autrement, toutes les méthodes d'impression nécessitent des étapes supplémentaires de fixation et/ou de lavage appropriées.

Parmi ces systèmes d'impression, le plus commun est l'impression directe. Dans cette catégorie, il existe plusieurs technologies d'impression très connues : la sérigraphie, l'impression par transfert et l'impression numérique.

- *La technique d'impression par sérigraphie* est basée sur les techniques de pochoirs, elle consiste à presser une pâte d'impression à travers un écran maillé ou perforé qui permet le passage de la pâte dans les zones du dessin, et qui l'empêche de pénétrer sur le reste de la surface. Les caractéristiques de la pâte d'impression , le type et les caractéristiques de l'écran sont donc des facteurs très influents.
- *La technique d'impression par transfert* est un processus qui se développe en deux étapes, dans lequel le motif est en premier lieu imprimé sur un support souple non textile, puis transféré sur le tissu. Il existe de diverses méthodes d'impression par transfert en fonction du principe de fonctionnement, mais celle du transfert par sublimation (basée sur l'utilisation de colorants volatils qui sont transférés sur le tissu par la chaleur) est la plus courante.
- *La technique d'impression digitale* est une technollogie CAO/FAO (conception assistée par ordinateur/fabrication assistée par ordinateur). La technologie d'impression digitale sur textile (DTP) est basée sur l'impression à jet d'encre, qui consiste en une une éjection de microgouttes d'encre à partir de têtes d'impression ou de buses placées directement sur les supports textiles. Ce procédé ne nécessite donc pas d'écran ou de système de transfert d'image pour développer le dessin.

Il convient de mentionner le cas particulier de l'impression par sublimation. Cette méthode utilise généralement un support de papier transfert, elle doit donc être considérée comme une méthode d'impression par transfert (bien que de nombreux auteurs l'incluent dans la PAO du fait que le papier est imprimé par des procédés numériques). Cela dit, une méthode hybride entre l'impression numérique et l'impression par transfert a été récemment développée. Dans la méthode "d'impression par sublimation directe", les encres de sublimation à faible énergie sont directement imprimées sur le tissu, puis sublimées par une chaleur sèche pour être fixées [1], [2]. En ce sens, ce procédé d'impression par sublimation est plus proche de l'impression numérique que de l'impression par transfert, vu qu'il n'utilise pas de papier transfert, et a été considéré dans cette leçon sous cette approche.

Tableau 1 présente une comparaison entre ces trois systèmes d'impression directe, révélant les avantages et les inconvénients des systèmes d'impression numérique par rapport à leurs principaux

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

concurrents. L'impression numérique dévoile plusieurs facteurs limitatifs, tels que la taille limitée de la production, la vitesse de production ou les coûts d'inversion des équipements. En revanche, elle offre d'autres facteurs positifs, tels que le temps des réponse instantanées, la facilité d'installation et la commodité de personnalisation de la production à moindre coût.

Tableau 1. Comparative entre la sérigraphie, l'impression par transfert et l'impression digitale [3].

	Sérigraphie	Impression par transfert	Impression digitale
Taille du lot de production	Grand - très grand	Medium-small	Small
Temps de réponse	Lent	Rapide	Très rapide
Processus de mise en place	Difficile et lent	Facile et rapide	Facile et rapide
Changement de design/couleurs	Difficile/Laborieux	Facile/Facile	Facile/Facile
Inversion d'équipement	Elevé	Faible-moyen	Moyen-élevé
Coût de stockage des produits	Elevé	Moyen	Moyen
Matériel requis	Pâtes	Substrat de transfert, encres	Encres
Statut technologique	Les plus courants	Bien établis	Emergents

En résumé, l'impression numérique est une technologie très souple qui permet de passer rapidement d'un motif à l'autre. Elle offre donc un énorme potentiel pour la personnalisation des produits, ce qui stimule la mise en œuvre de cette technique émergente dans de multiples secteurs textiles comme celui de l'habillement, la décoration intérieure ou encore les textiles techniques.

2. Aperçu de l'impression numérique à jet d'encre

Comme on l'a défini précédemment, les systèmes d'impression numérique textile à jet d'encre consistent en l'éjection de gouttes d'encre de différentes couleurs à partir d réaliser e têtes d'impression ou de buses directement placées sur les substrats textiles. Les gouttes d'encre sont réparties en une matrice de points (ou pixels) sur la surface du tissu, en combinant différentes encres de couleurs prédéfinies pour réaliser le motif souhaité, qui a été précédemment conçu par des outils numériques. Le document numérique signale à la machine à impression la quantité de l'encre donnée (taille/quantité des gouttes) qui doit être pulvérisée sur l'endroit souhaité du tissu.

En général, les couleurs fondamentales (cyan, magenta, jaune et noir) sont combinées pour produire la couleur souhaitée. Or, le logiciel de conception permet de sélectionner des couleurs dans la gamme de l'écran, qui sont parfois difficiles à imprimer avec les colorants CMJN, alors que les

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

couleurs imprimées peuvent ne pas avoir la même intensité et la même luminosité, car il s'agit d'une couleur soustractive (perçue par l'absorption de la lumière) plutôt que d'une couleur réfléchie, ce qui entraîne une déception et/ou une confusion lorsque les résultats ne correspondent pas exactement aux attentes [4]. Cependant, les systèmes d'impression numérique récents sont capables d'utiliser plus que ces quatre couleurs de base pour obtenir un tel dessin, et peuvent faire appel à d'autres couleurs de haute fidélité prédéfinies telles que le jaune doré, l'orange, le rouge, le bleu, le vert, le violet, etc. [5].

Un autre aspect important de l'impression numérique est la possibilité de contrôler l'intensité de la couleur sur le substrat. C'est ce que l'on appelle généralement la capacité d'imprimer en niveaux de gris car, en substance, cela explique quelles sont les approches permettant d'obtenir différentes densités d'encre dans un pixel. Il existe plusieurs moyens de produire des différences d'intensité de couleur (Figure 2).

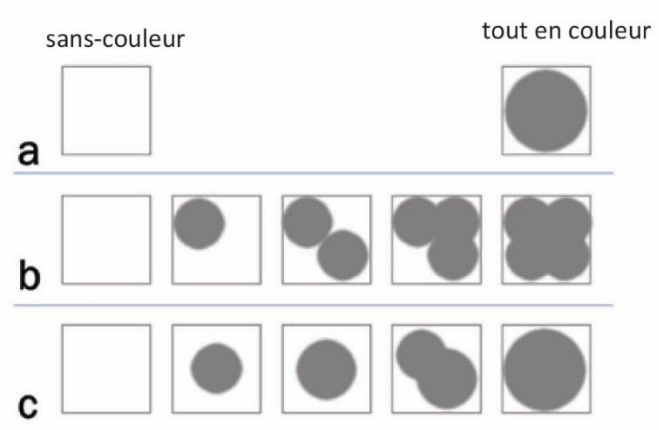


Figure 2. Niveaux de gris: a) 2- niveau de gris; b) 5- niveau de gris obtenu avec de petites gouttes; c) 5- Niveau de gris obtenu avec trois tailles de gouttes différentes. Adapté de [6].

En général, l'échelle de gris à 2 niveaux est le système d'impression le plus simple (figure 2a), un mode binaire dans lequel il y a deux niveaux : pixel coloré (la goutte atteint le substrat) ou pixel incolore. Toutefois, pour produire une transition plus lisse entre la couleur et l'incolore, il est nécessaire de contrôler la taille et/ou la position des gouttes pour couvrir une zone plus ou moins grande du pixel. Des niveaux de gris à 5 niveaux peuvent être obtenus avec des petites gouttes d'une seule taille placées avec précision dans le pixel (figure 2b), ou avec des petites gouttes de trois tailles différentes (figure 2c).

2.1. Processus de production d'une impression numérique à jet d'encre

Le processus de production typique d'un tissu imprimé au moyen de l'impression à jet d'encre est illustré à la figure 3. Il comprend la préparation du dessin, la préparation des encres, la préparation du tissu, l'impression et les étapes de post-traitement.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

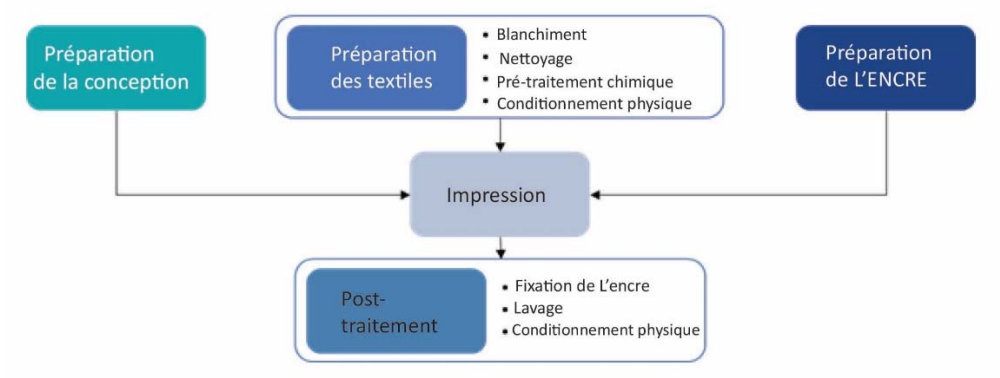


Figure 3. Processus de production typique d'un tissu imprimé numériquement

La section 3 montre en détail les machines d'impression et les différentes technologies utilisées, et la section 4 évalue les encres d'impression numérique. En outre, les étapes de prétraitement et de post-traitement dépendent du substrat du tissu et du type d'encre utilisé [7]. La nécessité des pré et post-traitements est évoquée dans la section 5. Enfin, le concept de l'impression numérique pour l'industrie de la mode est analysé dans la section 6.

3. Machines d'impression numérique à jet d'encre

Comme expliqué ci-dessus, le procédé d'impression numérique comporte plusieurs étapes, et donc des équipements de prétraitement ou de préparation de la surface du tissu, des dispositifs d'impression numérique qui appliquent des gouttelettes d'encre sur la surface du tissu, et des unités de post-traitement pour le séchage et le lavage. Néanmoins, les équipements de prétraitement et de post-traitement sont, en fait, des machines couramment utilisées dans l'industrie textile (rames, unités de rembourrage, etc.), qui ne sont pas spécifiques à cette technologie. Cette section se concentre donc sur les diverses technologies disponibles pour produire un processus d'impression, plus précisément.

Dans un dispositif d'impression numérique, le tissu (préparé pour l'impression) est alimenté à l'aide d'un rouleau, puis collé sur une bande roulante. La bande roulante est recouverte d'une couche thermoplastique spéciale, qui agit comme une colle en collant le tissu de manière à ce qu'il ne bouge pas pendant le processus d'impression. Par la suite, les têtes d'impression déposent l'encre en fonction du dessin. À l'heure actuelle, les imprimantes numériques peuvent être [8] :

- *Multipasse*, dans laquelle les têtes d'impression (de plusieurs couleurs) sont montées sur un seul chariot qui se déplace d'un côté à l'autre du tissu pour fonctionner. Le chariot se déplace pour effectuer un trait pendant que le tissu est arrêté. Lorsque le chariot arrive à une extrémité, il s'arrête et le tissu progresse. La levée suivante est alors possible, avec le tissu

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

arrêté et le chariot en mouvement. Ainsi, le mouvement du tissu est synchronisé avec celui du chariot (bien qu'il ne soit pas constant), et l'image est construite en imprimant des lignes horizontales qui se chevauchent partiellement. Ces machines présentent des vitesses de production plus lentes mais nécessitent des investissements amoindris.

- *Passage unique*, dans lequel il n'y a pas de chariot mobile. Les têtes d'impression sont montées sur des barres fixes (une barre par couleur), couvrant toute la largeur du tissu. Lorsque le tissu se déplace à vitesse constante sous ces barres, les têtes d'impression créent l'image en un seul passage. Il en résulte une qualité élevée et des vitesses de production beaucoup plus rapides, de même que des machines qui nécessitent un investissement beaucoup plus important en raison du grand nombre de têtes d'impression nécessaires.

Les têtes d'impression numérique à jet d'encre se divisent en deux groupes. Bien qu'elles soient toutes deux basées sur la projection d'encre par des buses capillaires, les gouttes peuvent être produites en permanence ou à la demande : dans les systèmes à **jet d'encre** continu (CIJ), l'encre tombe en permanence, mais n'est dirigée vers le substrat qu'en cas de besoin ; tandis que dans les systèmes à **jet d'encre à la demande** (DOD), les gouttes d'encre ne sont générées qu'en cas de besoin.

3.1. Jet d'encre continu

Comme indiqué ci-dessus, dans la technologie du jet d'encre continu (CIJ) (voir Figure 4), l'encre est projetée à travers les buses à une vitesse constante, mais le jet est instable et se transforme en petites gouttelettes peu de temps après avoir quitté la buse [6], [9]. La buse, d'un diamètre d'environ 10-15 microns [6], est agitée sous une haute fréquence déterminée qui, en fonction de la vitesse du jet, produit une perturbation du fluide du jet, lui permettant de contrôler la taille des gouttelettes. Cette impulsion périodique (0,5 à 1,0 MHz [6]) est typiquement réalisée au moyen d'un transducteur piézoélectrique, qui transforme les impulsions électriques en oscillations mécaniques sur la buse. Mais il existe aussi d'autres technologies à base thermique, qui font varier la viscosité de l'encre. [9].

Mais selon l'image à imprimer, toutes les gouttes ne doivent pas atteindre la surface du tissu, et certaines gouttes doivent donc être déviées pour éviter qu'elles ne tombent sur le substrat. La déviation sélective des gouttes est généralement réalisée par des moyens électriques (bien que le CIJ thermique puisse également utiliser de l'air ou d'autres systèmes [9]), et consiste en deux étapes. Dans un premier temps, les gouttes sont chargées électriquement en appliquant une tension de plusieurs milliers de volts entre la buse et une plaque de charge [6]. Dans un deuxième temps, les gouttes chargées obtenues à la sortie de cette électrode traversent un champ électrique qui interagit avec la charge et les dévie [9]. Les gouttelettes déviées sont collectées par la gouttière et renvoyées dans un système de recirculation pour être réutilisées.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

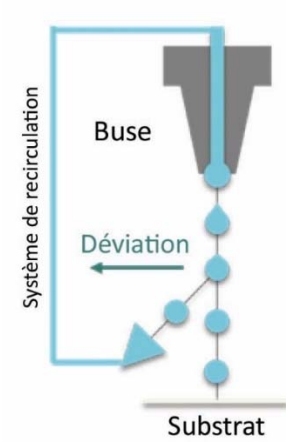


Figure 4. Schéma du principe de fonctionnement du jet d'encre continu (CIJ) [3]

Deux systèmes de déviation et une troisième méthode sont utilisés dans les CIJ à commande piézoélectrique:

- *Déviation binaire*, où chaque goutte d'encre peut être a) dirigée vers un point unique (pixel) du substrat, ou b) déviée.
- *Déflexion multiple*, dans laquelle la distance de déviation des gouttes peut être modifiée en changeant la tension appliquée. Par conséquent, chaque goutte d'encre unique peut être envoyée à plusieurs pixels.
- *La méthode Hertz*, d'autre part, permet de faire varier la quantité d'encre (densité d'encre) qui atteint le pixel. Étant donné que les gouttes produites sont très petites et que leur vitesse et leur fréquence sont très élevées, plusieurs gouttes peuvent être déposées dans le même pixel.

En raison de la complexité de la technologie, les têtes d'impression CIJ ont tendance à être plus chères. Toutefois, les vitesses de production atteintes sont très avantageuses, c'est pourquoi les imprimantes CIJ sont largement utilisées pour les applications industrielles.

En résumé, la figure 5 illustre une classification générale des technologies CIJ, adaptée de [9].

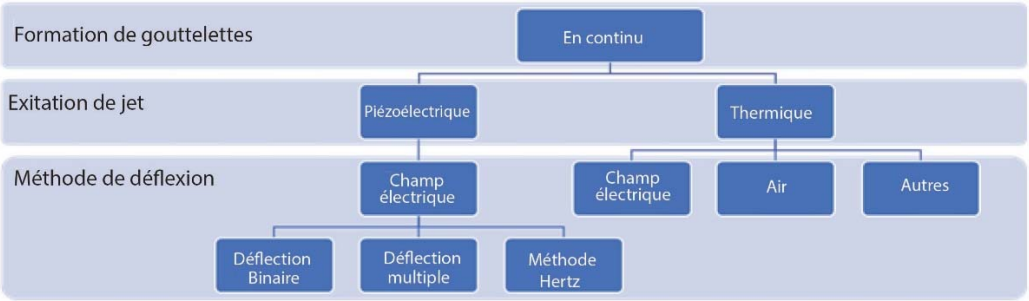


Figure 5. Principales technologies d'impression CIJ

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3.2. Jet d'encre au compte-gouttes

Dans le cas de la technologie de la goutte à la demande (DOD) (voir la figure 6), les gouttelettes sont éjectées des buses par des impulsions de pression qui ne sont produites qu'en cas de besoin.

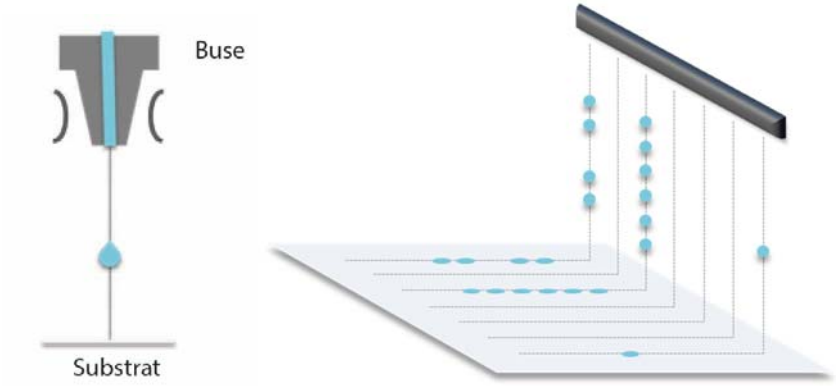


Figure 6. Scheme of the Drop On Demand (DOD) inkjet working principle [3], [6]

Il existe différents systèmes pour générer ces impulsions de pression, tels que les moyens thermiques, piézoélectriques ou encore électrostatiques [9].

- *Jet d'encre thermique* (TIJ) comportent un élément chauffant électrique à l'intérieur de la buse, qui est chauffé par l'effet Joule d'une impulsion de courant. De ce fait, la température de l'encre environnante (un volume très localisé) est rapidement augmentée. Cela provoque la nucléation et l'expansion explosive d'une bulle de vapeur qui, à son tour, génère l'éjection d'une gouttelette d'encre par l'orifice de la buse [9]. Il existe plusieurs configurations d'éjecteurs TIJ, mais les plus courantes sont les types "roof-shooter" et "side-shooter". Le seule avantage de ces têtes est qu'elles sont produites avec des techniques de fabrication de semi-conducteurs, ce qui leur permet d'incorporer l'électronique dans leur propre tête.

- *Jet d'encre piézo* (PIJ) génèrent la goutte en modifiant le volume de la chambre d'encre dans le canal de la buse. Le changement de volume est produit par un transducteur piézoélectrique qui peut être fixé à une membrane qui forme la paroi de la chambre d'encre, ou qui peut être la chambre elle-même [9]. Lorsqu'il est alimenté par un courant électrique, l'élément piézoélectrique produit une réduction du volume de la chambre d'encre (par cisaillement, flexion, poussée ou écrasement), ce qui entraîne l'éjection de la gouttelette. Les têtes PIJ sont, en fait, subdivisées en différentes classes en fonction de leur forme et/ou de leur fonctionnement : mode cisaillement, mode flexion, mode poussée, mode écrasement, excitation de la buse et alimentation de la couche poreuse [9]. Une caractéristique très importante est que la vitesse et la taille des gouttelettes peuvent être contrôlées en ajustant la forme d'onde du signal électrique appliqué aux buses [10].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- *Jet d'encre électrostatique* Les têtes induisent l'éjection des gouttelettes à travers les buses par des forces électrostatiques. Leur applicabilité à l'impression textile était très limitée [6] et il est fort possible qu'elles ne soient pas utilisées actuellement [10].

Si l'on compare les deux principales technologies des systèmes DOD, les têtes PIJ présentent une limite de la densité de remplissage de la buse en raison du déplacement qui peut être réalisé par le matériau piézoélectrique. C'est pour cette raison que la résolution native est plus élevée dans les têtes TIJ que dans les têtes PIJ commerciales [9]. la résolution native est plus élevée dans les têtes TIJ que dans les têtes commerciales PIJ [9]. En outre, les têtes TIJ peuvent être produites de manière plus compacte et avec des technologies moins coûteuses, ce qui les rend généralement moins chères que les têtes PIJ. Par contre, les têtes TIJ fonctionnent généralement avec des encres à base d'eau, alors que les têtes PIJ sont plus polyvalentes et peuvent facilement fonctionner avec n'importe quelle encre dans une certaine gamme de viscosité et de tension superficielle, ce qui inclut certains types d'encre moins courants. En outre, la capacité susmentionnée des têtes PIJ à contrôler le volume des gouttes et leur plus grande durabilité sont d'autres caractéristiques intéressantes qui font de la technologie PIJ la plus répandue sur le marché [9], [10].

En guise de résumé, la figure 7 présente une classification générale des technologies du DOD, adaptée à partir de [9].

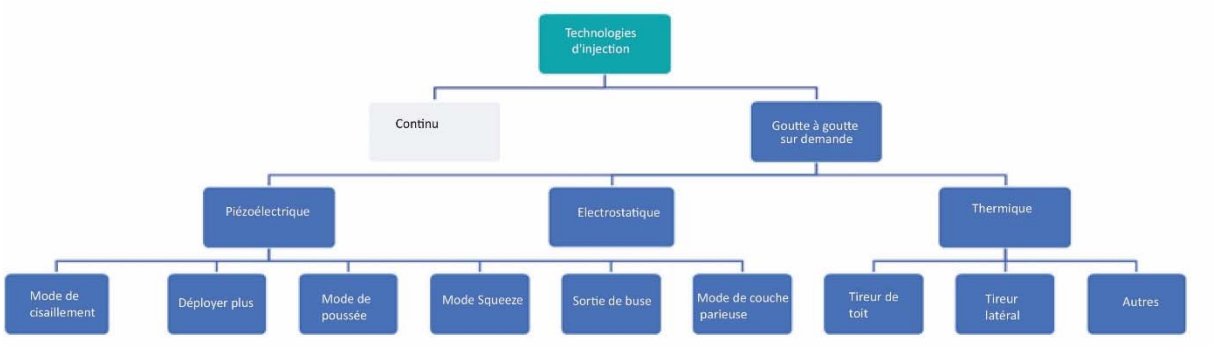


Figure 7. Principales technologies d'impression DOD

4. Encres pour impression digitale

L'impression numérique dépose directement l'encre sur la surface du tissu, éliminant le besoin de supports de transfert auxiliaires, contrairement à l'impression par transfert. En général, les encres pour l'impression numérique à jet d'encre sont composées d'un colorant (teinture ou pigment), d'un support et de divers additifs, mais elles ne contiennent pas d'agents épaississants ou fixateurs, contrairement aux pâtes d'impression. La composition de l'encre dépend du support textile à

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

imprimer, ces deux éléments influencent le processus de fixation ultérieur. En effet, certains prétraitements et post-traitements peuvent être nécessaires.

En ce qui concerne les colorants, les encres d'impression numérique peuvent être classées en : colorants réactifs, colorants acides, colorants à dispersion directe, colorants à sublimation, pigments et autres, selon le type de colorant utilisé. Le tableau 2 présente quelques informations sur les particularités des principaux types d'encre. Ces encres sont formulées avec les mêmes colorants et pigments que ceux utilisés dans l'impression conventionnelle, mais avec une attention particulière à la haute pureté, à la taille submicronique des particules et à la haute résistance tinctoriale, car ces paramètres sont essentiels pour le fonctionnement des têtes d'impression et la bonne qualité du résultat [11].

Tableau 2. Types de fibres disponibles, prétraitements et post-traitements en fonction des types d'encre [6], [12], [14].

Type d'encre	Type de support	Prétraitement	Post-traitement
Réactif	Fibres cellulosiques (coton, viscose), principalement	Alcaline	Vapeur Lavage
Acide	Fibres protéiques (soie, laine) Polyamide	Donneur d'acide	Vapeur Lavage
Dispersion directe	Polyester	Épaississeur	Vapeur à haute température
Sublimation	Polyester	n.a.	Sublimation par chaleur sèche Lavable à l'eau
Pigment	Tous types de supports	Non requis	Application de liant (si nécessaire) Durcissement par chaleur sèche/UV

En outre, la formulation des encres pour jet d'encre doit présenter des propriétés spécifiques qui permettent une performance optimale des gouttelettes à des vitesses très élevées dans les buses fines des têtes d'impression. Ces propriétés dépendent des exigences de l'encre telles que la tension superficielle, la viscosité, la pureté, la taille des particules, la conductivité, la stabilité, le pH et les propriétés moussantes [6], [15]. Par conséquent, les supports, les liants (dans certains cas) et d'autres additifs (tels que les tensioactifs et les sels) sont nécessaires pour assurer la bonne performance du jet, la fiabilité et la stabilité pendant le stockage et l'utilisation de l'encre [6].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les supports, qui agissent comme des véhiculeurs pour les molécules de colorant et qui peuvent représenter jusqu'à 80 % de la compositions Après la fixation du colorant, le support doit être évaporé ou éliminé. Pour cette raison, le support le plus pratique dans la plupart des cas et le plus couramment utilisé a été, typiquement, l'eau, qui est facile à évaporer et n'est pas toxique. Cependant, cette évaporation doit être évitée dans la buse, sinon celle-ci pourrait se boucher.

Dans ce contexte, les encres doivent permettre d'obtenir des images imprimées de bonne qualité, avec de bonnes nuances de couleur et une solidité adéquate, et tous ces paramètres dépendent également d'autres facteurs du processus qui seront évoqués plus loin. Par conséquent, l'impression numérique nécessite une approche holistique prenant en compte l'encre, le substrat, la technologie de la tête d'impression, ainsi que les pré et post-traitements, afin de produire des produits imprimés numériques de la qualité souhaitée.

4.1. Colorants réactifs

Les encres réactives sont très flexibles et sont largement utilisées pour imprimer sur des substrats cellulosiques, notamment le coton et la viscose, qui permettent d'obtenir des teintes vives avec une bonne résistance au lavage et à la lumière. Les radicaux de chlore (-Cl) des colorants réagissent avec les groupes hydroxyle (-OH) de la fibre de cellulose [6], formant des liaisons covalentes stables avec les fibres dans des conditions alcalines [13]. Cependant, les encres réactives peuvent également être adaptées à l'impression numérique des tissus en laine, en soie et en polyamide. En raison de cette flexibilité, la demande d'encres réactives de haute qualité est actuellement le moteur du marché de la PAO [15].

Néanmoins, tous les colorants réactifs ne conviennent pas à la production d'encres d'impression. Ils doivent présenter une stabilité au stockage, une faible substantitivité (attraction du colorant pour la fibre) et une bonne réactivité, mais aussi une faible teneur en sel, car le sulfate de sodium et le chlorure de sodium peuvent provoquer la corrosion des buses [13]. Parmi tous les types de colorants réactifs, les plus utilisés dans l'impression à jet d'encre on peut citer les colorants monochlorotriazine (MCT) et le vinyl sulfone (VS) [16]. En dehors du colorant, d'autres composants, notamment des agents hygroscopiques destinés à éviter le séchage de l'encre dans les buses, des tensioactifs et des tampons, sont également utilisés.

4.2. Colorants acides

Les colorants anioniques solubles dans l'eau sont couramment utilisés pour imprimer les tissus en laine, en soie et en polyamide. Les groupes amino des fibres sont protonés lorsqu'ils sont soumis à des conditions acides, tandis que les colorants acides acquièrent une charge négative [6]. Par conséquent, au lieu de créer des liaisons covalentes avec la fibre, les colorants acides sont attirés par les sites à charge positive de la fibre, créant ainsi des liaisons ioniques. Ce type de colorants permet

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

d'obtenir des teintes plus profondes et plus Colorants de dispersion que les colorants réactifs dans les fibres susmentionnées. De même que pour les colorants réactifs, les colorants acides doivent présenter une grande pureté pour les formulations d'encre, qui contiendront également des agents hygroscopiques et un tensioactif [13].

En outre, il est possible d'utiliser des colorants acides dans le coton, qu'un traitement préalable de cationisation ou un agent de réticulation soit appliqué au tissu [6], [13].

4.3. Colorants de dispersion

Les colorants de dispersion sont utilisés pour les tissus synthétiques, généralement en polyester. Le polyester est hydrophobe, il a en outre une forte cristallinité, ce qui limite les sites d'interaction disponibles pour les molécules de colorant [6]. Cependant, les colorants dispersés ne présentent qu'une solubilité limitée dans l'eau et peuvent être finement broyés et dispersés [13]. Leur forme physique (petite et plane), et leurs groupes fonctionnels polaires (-NO2 et -CN), permettent aux molécules de colorant d'atteindre les chaînes de polymère [6] et de former des liaisons stables avec les molécules de polyester [6].

La teinture est produite à des températures et des pressions élevées où la structure cristalline des chaînes de polymères est gonflée, offrant plus de sites pour la liaison du colorant ; les molécules de colorant liées restent fixes après refroidissement [6]. Dans le cas de l'impression à jet d'encre, ce résultat est obtenu par un post-traitement.

4.4. Colorants pour sublimation

Les molécules de colorants dispersés sont assez volatiles. Cela signifie qu'elles sont sublimables, et qu'elles peuvent donc être incorporées aux fibres à partir d'un substrat de transfert par un processus de chauffage à sec (effectué à environ 200 ºC) [6]. Ce procédé a été utilisé comme principe de fonctionnement du transfert par sublimation mentionné précédemment, où les motifs sont d'abord imprimés sur un papier, puis transférés sur le tissu. Toutefois, comme nous l'avons déjà mentionné, l'état actuel de la technique permet d'imprimer directement ces types d'encre sur le tissu (sans utiliser de matériau de transfert), puis de les fixer au moyen de chaleur sèche. C'est pour cette raison que ce type d'encre a été inclus dans cette leçon.

4.5. Pigments

Les colorants et les pigments sont tous deux des substances colorantes qui peuvent être appliquées sur des substrats textiles pour leur donner une couleur, bien qu'il existe des différences importantes entre eux. Tous les types d'encre précédents (réactifs, acides, dispersés et à sublimation) sont basés sur des colorants, qui sont des molécules partiellement solubles dans l'eau ayant une certaine affinité physico-chimique avec les fibres textiles. Les pigments, en revanche, sont insolubles dans

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

l'eau et n'ont pas d'affinité directe avec la fibre. Ils présentent une taille de particule submicronique (généralement moins de 0,1 micron de diamètre [6]), et leur fixation est réalisée au moyen d'une résine polymère, qui est durcie dans un post-traitement. Selon le principe de travail (que le support soit de l'eau, de l'huile, un solvant, un produit thermofusible ou une résine à durcissement UV), le post-traitement requis peut être basé sur la chaleur ou les UV.

La viscosité de l'encre et l'agrégation des particules sont des préoccupations majeures, en raison du diamètre réduit des buses et de la vitesse de travail élevée ; il est donc important de connaître les spécifications de la machine pour choisir la meilleure encre à utiliser. En outre, les liants (ces résines polymères autoréticulantes qui fixent les particules de pigment au substrat du tissu une fois durcies) augmentent également la viscosité de l'encre. C'est pourquoi, dans certains cas, le liant est ajouté lors d'une étape distincte, généralement après l'opération d'impression [6], [13].

L'impression numérique avec des pigments présente un certain avantage, car le processus est plus simple. Par exemple, dans l'impression à jet d'encre sur coton, l'utilisation d'encres à base de pigments suppose trois étapes (impression, séchage et durcissement), alors que celle d'encres réactives implique deux processus supplémentaires (impression, séchage, vaporisation, lavage et séchage) [13]. Par conséquent, en se basant sur les étapes de traitement requises, l'utilisation d'encres à base de pigments peut être une solution plus économique.

4.6. Autres

Bien que l'impression numérique soit principalement utilisée pour la coloration des tissus, l'impression numérique sur textile peut aussi offrir d'autres possibilités intéressantes. Le développement d'encres spéciales a ainsi permis de proposer des utilisations innovantes de cette technique, grâce aux nouvelles fonctionnalités que ces encres peuvent apporter aux tissus. Citons quelques exemples de ces nouvelles fonctionnalités:

- **Impressions conductrices.** Des encres à base de nanoparticules métalliques (contenant par exemple de l'argent ou du cuivre) ont été utilisées en impression numérique pour produire des dispositifs électroniques flexibles avec des substrats flexibles tels que des films polymères, par exemple. Par conséquent, en ajustant avec précision la composition de l'encre (et les paramètres d'impression), la PAO peut être proposée pour développer des antennes, des capteurs et des transistors sur des substrats textiles [17].
- **Traceurs et marqueurs antifraude.** En utilisant des azurants fluorescents en tant que composant de l'encre, l'impression numérique peut faciliter la distinction entre les produits authentiques et les contrefaçons [18]. Ce procédé est particulièrement intéressant pour les marques bien établies, qui peuvent ainsi identifier leurs produits et protéger leurs nouveaux modèles et articles à la mode.
- **Impressions antibactériennes et bactériostatiques**. La combinaison d'agents antimicrobiens dans la formulation d'encres jet d'encre à dispersion pour l'impression de textiles en

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

polyester et en polyamide permet de réaliser un dessin imprimé numériquement qui non seulement répond aux besoins esthétiques, mais qui peut aussi offrir des tissus plus fiables pour les environnements médicaux ainsi que des surfaces plus résistantes aux odeurs, aux attaques microbiennes ou aux taches, entre autres [15].

5. Supports en tissu pour l'impression digitale

Du point de vue chimique, l'impression numérique peut être réalisée sur des tissus de toute nature, bien que les matériaux textiles les plus courants soient le coton, la soie et le polyester. Comme cela a été expliqué précédemment, la nature de la composition des fibres ou des mélanges de fibres affectera le type d'encre à utiliser, mais il est possible d'imprimer numériquement presque n'importe quel type de tissu en faisant correspondre le matériau des fibres avec la chimie de l'encre.

Concernant la composition du tissu, toutes les compositions sont naturellement adaptées à l'impression numérique : tissus, tricots, non-tissés, etc., car il n'y a pas de contact entre les pièces mécaniques mobiles et le substrat (l'encre est déposée dessus) [6]. Cela signifie que la rugosité, la déformabilité, l'étirement ou la délicatesse des matériaux textiles ne sont pas des facteurs déterminants dans le processus d'impression. En fait, bien que les tissus soient les plus utilisés dans l'impression digitale, les volumes de tissus non tissés et tricotés utilisés dans cette technique numérique ont augmenté au cours des dernières décennies [11].

Outre ce qui précède, les matériaux en tissu doivent être propres et avoir une couleur régulière avant l'impression, ils doivent assurer une absorption optimale de la goutte d'encre à haute vitesse et sans étalement (ce qui est essentiel pour obtenir une définition de bonne qualité). Par conséquent, le tissu doit généralement être lavé et/ou blanchi avant l'impression numérique mais, dans de nombreux cas, il est également nécessaire de prétraiter les tissus en appliquant des épaississants et des produits chimiques sur la surface, afin d'ajuster l'absorption de l'encre. Cette section fait le point sur les principales préoccupations concernant les substrats en tissu destinés à l'impression digitale.

5.1. Prétraitements des tissus

L'interaction entre le matériau textile et l'encre est une préoccupation majeure dans l'impression numérique. Lorsque la gouttelette d'encre est éjectée sur le tissu, elle mouille dans un premier temps la surface du tissu, puis se répand (figure 8). Par ce fait, la capillarité intrinsèque des fibres et des fils détermine les propriétés de mèche et de diffusion du substrat, et doit être contrôlée pour éviter que l'étalement de l'encre ne donne lieu à une mauvaise qualité d'image. En outre, les substrats textiles ont aussi une grande influence sur le temps de séchage de l'encre, la solidité des couleurs et d'autres paramètres affectant la perception visuelle et la qualité de l'image [11].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

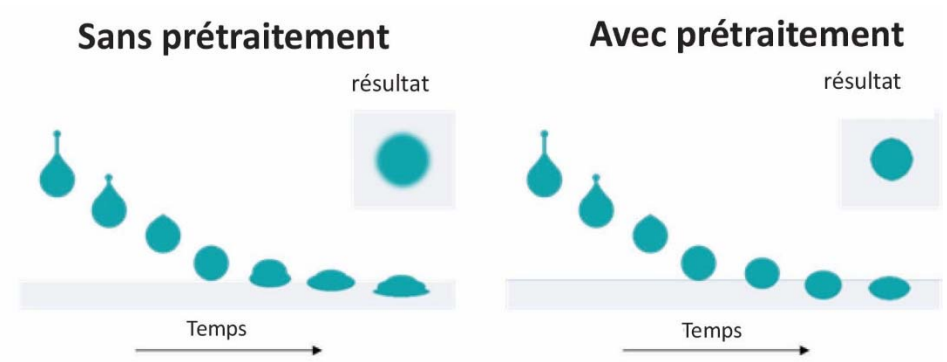


Figure 8. Interaction entre l'encre et le substrat du tissu. Basé sur [6]

Although viscosity is key to avoid the dissolved dyes from running on the fabrics, the inks used in digital inkjet printing must present a much lower viscosity (of around 5 mPa·s) than printing pastes used in conventional printing (around 5000 mPa·s) [11], in order to be suitable for the inkjet heads. Therefore, to achieve comparable results in terms of sharpness and clarity of the patterns, as well as of the accuracy of the colours (i.e., to control the ink-textile substrate interaction to improve print-quality), fabrics must be prepared for digital printing with accurate pre-treatments.

In most of the cases, bleaching and washing are part of the fabric pre-treatment for its preparation, prior to the digital printing. The first pre-treatment required is bleaching and washing, since the sizes of woven fabrics, the oils in knitted fabrics, or the lubricants in nonwovens and carpets need to be removed [13]. Then, pre-treatments to be applied (typically containing the thickeners and other chemicals that cannot be incorporated within the ink) will depend on fibre contents of fabrics, on whether the ink is based on dyes or pigments, and on the type of ink [11], according to the chemical nature of the substrate composition. The fabrics ready for printing are often labelled as “P for P” (prepared for print).

5.1.1. Coton et autres produits cellulosiques

Le coton et les autres tissus cellulosiques sont normalement imprimés numériquement avec des encres réactives à base de colorants. Une fois que le tissu est exempt d'impuretés (encollage, contaminations, etc. éliminées par désencollage et décapage), et que le degré de blancheur et le lustre souhaités sont atteints régulièrement sur l'ensemble du tissu (les processus de blanchiment et de mercerisage doivent être pris en compte), le prétraitement spécifique implique l'imprégnation ou le rembourrage du tissu avec : un épaississant, pour éviter l'effet naturel de mèche (assurant la netteté et la définition des bords et des contours) et pour retenir l'humidité (ce qui facilitera l'étape ultérieure d'étuvage) ; un alcali, pour faciliter la formation de liaisons covalentes entre le colorant et les fibres (qui ont lieu dans des conditions alcalines) ; et de l'urée, qui agit comme un humectant (agent hygroscopique). Étant donné que le tissu doit présenter un taux d'humidité d'environ 5 à 7 % pour l'impression, il est nécessaire de le sécher [13].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Une possibilité qui a été proposée pour réduire les temps de production tout en conservant la même flexibilité sur l'impression du dessin, a consisté à intégrer la fabrication du tissu (tissage) et la coloration (impression numérique à jet d'encre) comme un processus continu. L'état actuel de l'impression numérique a conduit à un niveau de développement des machines permettant d'atteindre des vitesses de production assez rapides pour réaliser une telle opération. Toutefois, le défi consiste à utiliser des agents d'encollage pour protéger les fils de chaîne pendant le tissage, ainsi que des fixateurs d'impression pour garantir un processus d'impression correct. C'est pourquoi il est possible d'utiliser des fixateurs d'impression comme agents d'encollage, comme pour les tissus en coton imprimés avec des encres à base de colorants réactifs [19].

5.1.2. Laine et soie

La laine ou la soie peuvent être imprimées avec des colorants réactifs ou acides, les colorants réactifs offrant des résultats acceptables mais pour des teintes plus foncées, il est nécessaire de choisir des colorants acides, bien que l'utilisation de colorants réactifs dans la laine soit très peu fréquente. Le prétraitement des tissus en soie destinés à l'impression réactive est le même que celui qui est recommandé pour le coton [13].

Dans le cas de l'utilisation de colorants acides dans la soie ou le bois, le prétraitement se compose de trois éléments principaux : l'agent épaississant, comme par exemple les épaississants à base de gomme dans ce cas, l'urée et un acide (de préférence des acides organiques) ou un acide latent (généralement des sels d'ammonium) pour garantir des conditions acides pendant le vaporisation afin de protéger les groupes amino dans le bois ou la soie [13].

5.1.3. Polyamide

Du fait que le polyamide est généralement imprimé avec des colorants acides, un prétraitement comme celui précédemment décrit, mais dans leq En cas d'impression avec des colorants réactifs, l'alginate de sodium est privilégié comme inhibiteur de migration uel les quantités d'urée et d'acide sont ajustées, permettrait d'obtenir des résultats optimaux. Cependant, d'autres prétraitements alternatifs peuvent être cités dans la littérature, comme le traitement avec des solutions de dérivés du bisphénol, l'incorporation de composés cationiques ou encore l'incorporation de certains réactifs [13].

In the case of being printed with reactive dyes, sodium alginate is preferred as migration inhibitor [13].

5.1.4. Polyester

Le polyester est imprimé avec des colorants à dispersion, qui nécessitent des températures supérieures à la transition vitreuse du polymère pour assurer la diffusion à l'intérieur de la fibre. L'épaississant se doit donc de résister à ces températures, qui sont assez élevées pour le polyester.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'alginate de sodium est généralement utilisé à cette fin, en jouant le rôle d'inhibiteur de migration, bien que des alternatives synthétiques et d'autres prétraitements alternatifs soient également disponibles dans la littérature [13].

5.1.5. Autres

En ce qui concerne les mélanges de fibres, les prétraitements doivent être adaptés en fonction de l'encre à employer, qui dépendra de la composition du tissu (types et quantité de fibres). Généralement, l'impression numérique peut résister à des mélanges de fibres de nature différente dans lesquels l'une d'entre elles est présente dans un degré allant jusqu'à 70%. Des pourcentages inférieurs peuvent rendre le processus plus complexe, vu que l'encre ne doit être utilisée que pour l'un des composants, ce qui permet d'obtenir des intensités de couleur bien moins élevées que prévu. Dans tous les cas, cela dépend du type de mélange à utiliser.

Pour éviter les problèmes de réaction dans les mélanges, une solution pourrait être de les imprimer avec des encres à base de pigments. Dans certains cas, le prétraitement des tissus qui seront imprimés numériquement avec des encres à base de pigments n'est pas nécessaire car les produits chimiques peuvent être intégrés à leur propre encre [6].

5.2. Post-traitements des tissus

Bien que le prétraitement et la formulation de l'encre peuvent réduire, voire éliminer, la nécessité de post-traitements, ces derniers sont dans la plupart des cas nécessaires pour fixer la couleur sur le tissu. Quelques exemples généraux sont ici recueillis [6], [13]:

- Pour les substrats cellulosiques imprimés avec des encres réactives à base de colorants, la fixation nécessite une vaporisation atmosphérique pendant 8 à 17 minutes à 102 ºC, suivie d'une étape de lavage.
- La fixation des colorants acides est réalisée par une vaporisation atmosphérique pendant 30 à 40 minutes à 101-103 ºC, suivie d'un lavage et d'un séchage.
- Pour les colorants à dispersion des tissus en polyester, la fixation est réalisée par une vaporisation à haute température à 170-180 ºC sous pression atmosphérique, ou à 140-150 ºC avec un flux sous pression, suivie d'un cycle de lavage, incluant une réduction claire.
- Dans le cas de la sublimation, une chaleur sèche à 190-200 ºC, doit être appliquée pour le processus de sublimation.
- Pour les encres à base de pigments, les post-traitements nécessitent dans certains cas l'application du binder après coup. Cependant, dans tous les cas, une étape de durcissement supplémentaire est nécessaire. Ce durcissement peut être effectué par chaleur sèche à l'aide d'air chaud dans une rameuse, bien que certains systèmes peuvent aussi être durcis par irradiation aux UV.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

6. Le pouvoir de l'impression numérique dans le domaine de la mode

De nos jours, la technique la plus utilisée est la sérigraphie (environ 90 % du devis), puis le transfert. Cependant, l'impression numérique est une technique naissante qui a connu une forte croissance au cours des dernières décennies. L'utilisation de l'impression numérique sur les textiles a fait ses débuts dans le secteur de la moquette, avec des appareils primitifs offrant une résolution médiocre et suffisante à la fois, le développement continuel de la technologie a permis de vulgariser les imprimantes numériques appliquées à d'autres substrats textiles dans les années 1990 [6].

Depuis lors, l'amélioration continue de la technologie a permis à cette technique émergente de trouver sa place actuelle sur le marché, les prévisions pour l'impression numérique sont prometteuses. Les procédés numériques pour le textile ont évolué pour offrir une meilleure qualité, une meilleure définition et une rapidité d'impression accrue. En outre, ils sont faciles à mettre en place, produisent un minimum de chutes de tissu et d'encre, et permettent une personnalisation très simple du processus. De ce fait, l'impression numérique peut être considérée comme une alternative durable pour la coloration des textiles et possède un fort potentiel pour devenir la principale technologie d'impression textile dans les années à venir.

Selon les aperçus des rapports d'Allied Market Research, en 2019, le marché mondial de l'impression numérique sur textile était évalué à 2,2 milliards de dollars et devait " atteindre 8,8 milliards de dollars d'ici 2027, avec une croissance à un TCAC (taux de croissance annuel composé) de 19,1 % de 2020 à 2027. " [20], tandis que le marché mondial des encres d'impression numérique pour textiles était évalué à 1 112 millions de dollars et devait " atteindre 2 665,7 millions de dollars en 2027, avec un TCAC (taux de croissance annuel composé) de 11,6 % entre 2020 et 2027 " [21].

En raison de la crise mondiale due à la situation de Covid-19, ces prévisions ont été atténuées. Cependant, les pronostics restent positifs quant à la croissance future du secteur. Selon Research & Markets, "Au milieu de la crise du COVID-19, le marché mondial de l'impression numérique sur textile, estimé à 1,5 milliard de dollars US en 2020, devrait atteindre une taille révisée de 3 milliards de dollars US d'ici 2027, avec un taux de croissance annuel composé de 10,3 % sur la période 2020-2027" [22].

Les causes de cette croissance sont, entre autres, la disposition d'une large gamme de machines, qui offrent des solutions pour un grand nombre de besoins spécifiques, ou le lancement de grandes imprimantes à haute vitesse à unique passage, qui contribuent à réduire l'écart entre l'impression numérique et d'autres technologies plus classiques comme la sérigraphie rotative. Cependant, il existe un autre facteur qui devrait prendre plus de poids dans les années à venir, puisque l'impact de l'"agenda de la durabilité" sur la montée en puissance des technologies d'impression numérique n'a pas encore été évalué en profondeur, et c'est un point sur lequel cette technologie devrait jouer un rôle important [23].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'essor de l'impression numérique a manifestement touché le secteur de l'habillement (en particulier la fast fashion, mais aussi le sportswear), transformant la dynamique en termes de productivité, de créativité et de nouvelles applications. Un exemple est la technologie DTG (Direct to Garment), un phénomène qui a connu une croissance remarquable en raison de sa capacité à satisfaire la demande du marché de masse pour des articles originaux et personnalisés [23]. Pour tout cela, l'impression numérique sur textile est perçue comme une technologie émergente de grand intérêt pour l'industrie textile, et doit être contrôlée au cours des prochaines années en quête de nouveaux développements et de nouvelles opportunités. Le processus d'impression numérique pour les applications de la mode peut être évalué en fonction des défis et des facteurs clés de cette technologie.

6.1. Facteurs clés

L'impression numérique offre plusieurs avantages par rapport aux autres modes d'impression classiques, à savoir une meilleure esthétique, des options de personnalisation, une configuration efficace et rapide, la flexibilité, la rentabilité, des temps de production plus courts, une meilleure efficacité du flux de travail et même une baisse des coûts, notamment. Ces avantages sont les moteurs principaux de cette technologie.

Esthétique et personnalisation

La flexibilité de la technique permet d'apporter rapidement des modifications esthétiques à la couleur et au motif du tissu. De plus, il n'y a pas de contraintes quant au nombre de couleurs ou à la taille de répétition du motif. Par conséquent, cette technique fait face à une demande croissante de la part des industries de l'habillement et de la publicité, mais aussi de la part des designers, qui y perçoivent la possibilité de développer une gamme de motifs plus vaste et plus sophistiquée, tout en préservant leur exclusivité avec des productions plus succinctes..

L'évolution rapide des tendances de la mode

Les retouches CAO/FAO facilitent la préparation des échantillons et la validation des dessins. Il est donc plus avantageux de consacrer moins de temps à réaliser le produit souhaité, ce qui répond aux attentes du marché de la mode moderne. En outre, les modifications ou les retouches nécessaires peuvent être appliquées sans coût supplémentaire, ce qui a des répercussions sur la diminution du coût du processus de conception et, par conséquent, sur le produit final.

Impression rentable de haute qualité

Les encres d'impression numérique sur textile offrent un rendement chromatique supérieur, de sorte que cette technologie est extrêmement avantageuse pour la production de produits de bonne qualité en petites séries. Dans un tel contexte, la PAO permet de produire des éditions limitées tout en garantissant la qualité du produit.

Réduction du délai de mise sur le marché (vitesse de livraison)

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

À l'heure actuelle, les améliorations des imprimantes numériques permettent des délais de production plus courts, tandis que le processus assisté par ordinateur garantit des délais de développement de produits plus brefs, entraînant tous deux des délais de livraison plus courts. En outre, la rapidité de cette technique permet une production à la demande, réduisant ainsi le risque de matériaux inutilisés et de produits non commercialisés, ce qui a des répercussions sur les coûts et la préservation de l'environnement.

Diminution du coût unitaire

Les développements technologiques perpétuels entraînent des processus plus efficaces qui réduisent le décalage entre l'impression numérique et les autres techniques d'impression textile. En outre, la flexibilité de la technique permet de produire des lots de courte durée en éliminant les coûts élevés (par exemple, la production d'écrans, les frais de montage, la production d'échantillons, etc.

Augmentation de la demande d'impression durable

L'impression numérique permet d'économiser de l'énergie et de l'eau par rapport aux autres méthodes de production classiques, vu que les gouttes d'encre sont appliquées directement sur la surface du tissu et que la consommation d'énergie et d'eau est moins importante au moment du processus. La PAO permet d'économiser environ 30 % d'énergie et 95 % d'eau par rapport aux méthodes d'impression classiques. En optimisant l'utilisation des produits chimiques de prétraitement et des encres, on réduit également les rejets de produits chimiques dans les eaux usées après traitement, ce qui diminue la pollution.

6.2. Défis

En dépit de cela, l'impression numérique a encore quelques challenges à surmonter, et nécessite un développement plus poussé de la technologie jusqu'à ce que celle-ci atteigne la maturité des méthodes d'impression classiques. Nous reviendrons ici brièvement sur certains d'entre eux.

Précision des couleurs

Quand on développe les maquettes, les systèmes numériques permettent d'atteindre toutes les couleurs possibles. Toutefois, ce principe ne s'applique pas toujours à l'étape de l'impression. Certaines couleurs sont en effet difficiles à obtenir en raison des contraintes liées aux substrats et aux encres. Ce phénomène peut générer le refoulement des tissus imprimés en raison d'une inadéquation entre le motif et le résultat imprimé.

Coût d'investissement

Le coût d'investissement est très élevé, essentiellement en raison des têtes d'impression et du coût des encres. Cependant, une réduction est attendue dans un futur proche, car la durabilité des pièces est optimisée (et donc le temps d'amortissement augmenté), le coût des pièces échangeables diminue, et la vitesse de production progresse, permettant un amortissement du capital investi plus rapide.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Coût des encres

e coût de l'encre est un facteur déterminant dans le secteur de l'impression numérique. Bien que le prix de l'encre numérique ait diminué au fil des ans, et qu'il soit actuellement environ 40 fois moins élevé qu'au début du boom de la PAO, dans les années 1990, le coût des encres doit être réduit pour pouvoir concurrencer les autres technologies d'impression classiques, car un coût élevé limite les possibilités de la PAO dans le secteur de la mode.

Développement et perfectionnement des compositions d'encre

En tant que technique émergente, la PAO doit encore être développée et améliorée. Par un exemple, les encres à pigments peuvent encore être améliorées, et il existe également une vaste gamme de nouveaux encres à développer afin de faire de la PAO une technique encore plus flexible. En particulier, pour que cette technique soit la plus écologique possible, il est préférable de substituer certains produits chimiques que l'on rencontre dans le processus de fabrication.

Références

[1] J. Notermans, “[The Note] Direct digital to fabric printing vs sublimation paper printing: what’s the difference?” *SPGPrints Blog*, 2018. [Online]. Disponible sur : https://blog.spgprints.com/digital-printing-vs-sublimation [Consulté : juin. 22, 2021].

[2] Mimaki Global, “Broaden the scope of dye sublimation printing with Mimaki.” [Online]. Disponible sur : https://mimaki.com/topics/product/inkjet_printer/sublimation-inkjet-printer.html [Consulté : juin. 22, 2021].

[3] Universitat Politècnica de Catalunya, “Skills4Smart TCLF Industries 2030: Lesson 3 – Textile printing processes Unit UL08 - Dyeing, colouring and finishing processes.” 2019.

[4] B. Gooby, “The Development of Methodologies for Color Printing in Digital Inkjet Textile Printing and the Application of Color Knowledge in the Ways of Making Project,” *J. Text. Des. Res. Pract.*, vol. 8, no. 3, pp. 358–383, Sep. 2020.

[5] H. Ujiie, “Fabric Finishing,” in *Textiles and Fashion*, Elsevier, 2015, pp. 507–529.

[6] D. J. Tyler, “Textile Digital Printing Technologies,” *Text. Prog.*, vol. 37, no. 4, pp. 1–65, Sep. 2005.

[7] H. Noguchi and K. Shirota, “Formulation of aqueous inkjet ink,” in *Digital Printing of Textiles*, Elsevier, 2006, pp. 233–251.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[8] D. Jahic, “What is digital textile printing and what are the advantages for your company?,” *SPGPrints Blog*, 2019. [Online]. Available: https://blog.spgprints.com/what-is-digital-textile-printing [Consulté : juin. 20, 2021].

[9] E. Mariano Freire, “Ink jet printing technology (CIJ/DOD),” in *Digital Printing of Textiles*, Elsevier, 2006, pp. 29–52.

[10] N. Kašiković, G. Vladić, and D. Novaković, “Textile Printing - Past, Present, Future,” *Glas. hemiĉara, Tehnol. i Ekol. Republike Srp.*, pp. 35–46, 2016.

[11] Y. K. Kim, “Effect of pretreatment on print quality and its measurement,” in *Digital Printing of Textiles*, Elsevier, 2006, pp. 252–275.

[12] M. Raymond, “Industrial production printers – DuPont Artistri™ 2020 textile printing system,” in *Digital Printing of Textiles*, Elsevier, 2006, pp. 69–83.

[13] C. Hawkyard, “Substrate preparation for ink-jet printing,” in *Digital Printing of Textiles*, Elsevier, 2006, pp. 201–217.

[14] Z. Fu, “Pigmented ink formulation,” in *Digital Printing of Textiles*, Elsevier, 2006, pp. 218–232.

[15] E. K. Karanikas, N. F. Nikolaidis, and E. G. Tsatsaroni, “Preparation of novel ink-jet inks with antimicrobial and bacteriostatic properties to be used for digital printing of polyester and polyamide fibers,” *Prog. Org. Coatings*, vol. 76, no. 7–8, pp. 1112–1118, Jul. 2013.

[16] J. Notermans, “[The Note] Reactive dyes for digital textile printing: the difference between MCT and VS dyes,” *SPGPrints Blog*, 2020. [Online]. Disponible sur : https://blog.spgprints.com/difference-mct-and-vs-dyes [Consulté : juin. 220, 2021].

[17] Y.-P.-Q. Yi and Y. Li, “Inkjet Conductive Inks for Printing Textile Materials and Applications,” *J. Fiber Bioeng. Informatics*, vol. 12, no. 1, pp. 11–24, Mar. 2019.

[18] E. K. Karanikas, N. F. Nikolaidis, and E. G. Tsatsaroni, “Novel digital printing ink-jet inks with ‘antifraud markers’ used as additives,” *Prog. Org. Coatings*, vol. 75, no. 1–2, pp. 1–7, Sep. 2012.

[19] B. R. George *et al.*, “Integration of fabric formation and coloration processes,” in *Digital Printing of Textiles*, H. Ujiie, Ed. Elsevier, 2006, pp. 123–143.

[20] Allied Market Research, “Digital Textile Printing Market Outlook - 2027,” 2020. [Online]. Disponible sur : https://www.alliedmarketresearch.com/digital-textile-printing-market [Consulté : Juin 20, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[21] Allied Market Research, “Digital Textile Printing Inks Market Outlook - 2027,” 2020. [Online]. Available: https://www.alliedmarketresearch.com/digital-textile-printing-inks-market [Consulté : juin 20, 2021].

[22] Research and Markets, “About the report: Digital Textile Printing - Global Market Trajectory & Analytics 2021,” 2021. [Online]. Disponible sur : https://www.researchandmarkets.com/reports/4804794/digital-textile-printing-global-market [Consulté : jul. 10, 2021].

[23] D. McKeegan (2021, Feb. 26), *Market Trends - the vibrant future for Digital Textile Printing*. FESPA. [Online]. Disponible sur : https://www.fespa.com/en/news-media/features/market-trends-the-vibrant-future-for-digital-textile-pinting [Consultés : jul. 12, 2021]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Qu'est-ce que le DOD ?

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois propositions ci-dessous.

a) La technique d'impression numérique consistant à produire la goutte d'encre au moment voulu, en fonction du dessin à développer.

b) Une technique d'impression numérique qui consiste à imprimer directement les motifs sur les articles.

c) Un post-traitement de la technique d'impression numérique utilisant la chaleur sèche pour sublimer les colorants et les transférer depuis le papier transfert vers le tissu.

Question 2 : Quels sont les types de tissus qui peuvent être imprimés numériquement à partir d'encres à pigments?

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois propositions ci-dessous.

a) Tous les tissus peuvent être éventuellement imprimés avec des encres à pigments

b) Uniquement du coton

c) Coton, polyester et soie

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 4.3. Le rôle des accessoires, des articles fonctionnels et des emballages dans la différenciation des vêtements, en intégrant les vêtements, le cuir et les bijoux

Evangelos Louris
Université de l'Attique occidentale (UNIWA)

1. Différenciation des produits

Le concept de la « différenciation des produits » a été introduit par Edward Chamberlin en 1933 [1]. Ce concept repose sur le fait que, la différenciation des produits en économie et en marketing est un processus consistant à distinguer un produit ou un service des autres, afin de le rendre plus attrayant pour un marché cible très particulier. Ce processus implique la différentiation du produit des produits concurrents, ainsi que, de ceux d'une même entreprise. Une autre définition donnée sur le site Web d'Investopedia [2], considère la « différenciation des produits » comme une stratégie marketing visant à distinguer les produits ou services d'une entreprise de ceux de la concurrence. Les éléments de différenciation des produits comprennent la conception du produit, le marketing, l'emballage et la tarification des produits [2]. En gardant cela à l'esprit, nous pouvons facilement comprendre que la première étape de la réussite d'un produit destiné à la production consiste à identifier les caractéristiques uniques que le produit doit y avoir afin d'être attrayant pour les acheteurs potentiels et en même temps être significativement différent des produits concurents sur le marché. En d'autres termes, le produit doit être porteur de valeur sur le marché. La deuxième étape consiste à présenter le nouveau produit aux acheteurs potentiels, en communiquant et en soulignant les caractéristiques qui rendent ce dernier unique. Une combinaison réussie de la différenciation des produits et de la stratégie marketing est, la condition préalable pour qu'une entreprise devienne compétitive, puisse renforcer sa reconnaissance sur le marché et améliorer la valeur perçue de sa marque au fil du temps. Selon Michael Porter [3,4], fondateur de la science moderne de la stratégie concurentielle, les deux grandes stratégies génériques qu'une organisation peut suivre pour atteindre une position concurrentielle sur le marché sont la différenciation et l'avantage par les coûts. Dans une étude réalisée en 2009 par Spence and Joiner [5], il a été rapporté qu'entre ces deux stratégies, la différenciation est la strtégie la plus couramment utilisée.

La différenciation des produits peut être divisée en trois catégories :

Différenciation verticale : Cette catégorie fait référence aux caractéristiques du produit qui sont tangibles et mesurables. Dans de tels cas de différenciation, les clients classent les produits en fonction de facteurs mesurables, tels que le prix ou les performances, et choisissent ensuite le

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

produit ayant la note la plus élevée. Bien que les mesures soient objectives, chaque client peut choisir de mesurer un facteur différent [2].

Différenciation horizontale : Cette catégorie fait référence aux caractéristiques des produits qui sont intangibles et qui ne peuvent pas être mesurées objectivement. Dans de tels cas de différenciation, les clients choisissent entre les produits en fonction de leurs préférences personnelles et non sur des mesures objectives. Si différents produits ont de nombreuses caractéristiques similaires et coûtent à peu près le même prix, la décision d'achat est basée sur des préférences subjectives [2]. Quelques exemples de préférences subjectives pourraient être la couleur, la texture, l'odeur, l'esthétique générale ou la marque d'un produit.

Différenciation mixte : Cette catégorie fait référence aux cas qui combinent la différenciation verticale et horizontale des produits. Dans ce cas, les acheteurs décident en fonction d'un équilibre entre les critères objectifs (mesurables) et subjectifs (non mesurables) et, bien entendu, chaque acheteur accorde un score selon le poids relatif de chaque objectif [2]. Si l'on considère les articles de mode haut de gamme, tels que les robes de soirée de luxe, on peut supposer qu'ils entrent dans la catégorie de la différenciation horizontale des produits. Cependant, de nombreux autres articles de mode, comme les pantalons de sport ou les vestes de pluie imperméables, entrent dans la catégorie de la différenciation mixte.

Comme suggéré dans le livre Marketing Fashion [7], les articles de design de mode se composent de quatre éléments de base:

- Silhouette ou forme
- Texture ou motif
- Couleur
- Style ou aspect total (total look en anglais)

En tenant compte du fait que dans de nombreux produits de la mode moderne, la performance technique est très importante, nous pouvons donc ajouter ce dernier en tant que cinquième élément clé du design de mode (Figure 1). L'aspect de la performance technique pourrait également être parmi les exigences de conception des produits liées aux questions environnementales et de la durabilité. Les accessoires et les articles fonctionnels, en tant qu'éléments d'un produit de mode, affectent principalement le style, mais dans certains cas, ils peuvent également affecter la silhouette, la couleur et les performances techniques d'un vêtement. Par exemple, un bouton peut être utilisé pour changer la forme d'un vêtement, une ceinture peut changer l'aspect générale de la couleur et une fermeture éclaire de haute qualité peut affecter les performances techniques d'une veste. L'emballage, bien qu'il ne fasse pas partie intégrante d'un produit de mode, peut affecter l'apparence générale du produit sur le lieu de la vente et influencer la décision des acheteurs. Dans ce cas, nous devrions considérer l'emballage comme un facteur de différenciation des produits.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

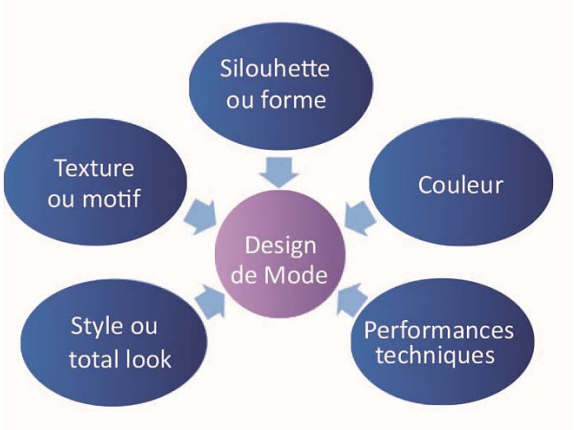


Figure 1. Les cinq éléments clés d'un design de mode

2. La stratégie de marque ou le "branding" dans la mode

Dans le livre « Luxury fashion branding: trends, tactics, techniques » d'Uche Okonkwo [9] on peut souligner que la première apparition du concept de stratégie de marque (brand strategy ou le Branding en anglais), remonte au début du XVIe siècle lorsque les distillateurs de whisky ont commencé à expédier leurs produits dans des barils en bois sur lesquels était gravé le nom du producteur. Le but de cette méthode était de différencier leurs produits de ceux de leurs concurrents et d'aider les consommateurs à distinguer les produits originaux de ceux les moins chers [9]. Au 20ème siècle, le concept de la marque est devenu un élément central de toutes les stratégies marketing modernes et, au cours de ces dernières années, il est devenu si important qu'il est désigné par le nom distinctif « Stratégie de marque » ou brinding strategy.

Il est très difficile de trouver une définition exacte des deux termes "Marque" et "stratégie de marque". La raison en est qu'ils incluent tant de concepts abstraits qu'il est difficile de les décrire en quelques lignes. Cependant, une brève définition pourrait être la suivante :

Marque: toutes les propriétés matérielles et immatérielles d'une entreprise et de ses produits qui sont reconnaissables par les consommateurs, créant une image unique et de la valeur sur un marché cible.

Stratégie de marque: la somme de tous les efforts qu'une entreprise fournisse pour créer et maintenir une image unique et différente de la concurrence dans l'esprit du client potentiel cible ; et asseoir une place sur le marché, en tant qu'une entreprise unique.

Les outils clés de la stratégie de marque que U. Okonkwo propose pour le marché de la mode de luxe, mais qui restent les mêmes sur l'ensemble du marché de la mode, sont la différenciation et l'attrait émotionnel [9]. Dans la stratégie de marque, le terme différenciation fait référence non seulement à la différenciation des produits, mais aussi à la façon dont une entreprise utilise la

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

différenciation pour atteindre et toucher ses clients et répondre à leurs besoins. La stratégie de marque exige d'une entreprise qu'elle soit innovante et créative en matière de marketing et de la vente au détail également. L'attrait émotionnel fait référence aux sentiments positifs qu'un consommateur éprouve pour la marque. Ces sentiments proviennent de l'expérience personnelle globale ou de l'expérience d'autres personnes qui sont en contact avec la marque [9]. Les valeurs qu'une entreprise communique à ses clients, notamment le style, le prestige, la fiabilité et les valeurs sociales, sont des facteurs clés pour créer un attachement émotionnel des clients à une marque.

La première étape de la stratégie de marque de mode, suggérée par U. Okonkwo [9], consiste à répondre à trois questions :

1. Quelle est la caractéristique de ma marque qui va susciter l'intêret des clients?
2. Qu'est-ce qui rend ma marque unique, et que les concurrents ne peuvent pas la copier?
3. De quel élément ai-je besoin pour que ma marque soit la meilleure par rapport à d'autres marques qui offrent des produits similaires?

Les accessoires, les textiles fonctionnels et les emballages influencent le style général d'un produit de mode et jouent un rôle important dans les processus de différenciation des produits et de la valorisation de la marque.

Plus précisément, les accessoires, les textiles fonctionnels et les emballages peuvent être utilisés dans les produits de mode pour atteindre:

- La fonctionnalité (par exemple les boutons, les fermetures éclairs ou autres types de fermeture)
- La différenciation et l'unicité d'un produit ou d'une collection entière
- L'attrait du luxe
- La valorisation de l'identité et de l'image de marque de l'entreprise

3. Bijoux brodés

Nous savons tous que les vêtements de luxe et ornés de bijoux sont l'expression d'un statut social élevé. Selon Michael Carter [10], l'une des premières recherches scientifiques sur ce phénomène a été faite par Herbert Spencer dans son livre « The Principles of Sociology » en 1924 [11]. Spencer a suggéré que les ornements personnels, comme les tatouages, les bijoux, les os, les cuirs, les fourrures et les vêtements, étaient capables d'établir un statut social et une autorité [10]. Il a également suggéré que la mode a évolué grace au besoin des personnes les plus pauvres appartenant aux classes sociales inférieures d'imiter l'apparence et le statut des classes supérieures [10]. Veblen a décrit ce comportement du consommateur dans le marché dans son livre « The Theory of the Leisure Class » (publié pour la première fois en 1899) [12]. Il a affirmé que chaque classe sociale en imitant le comportement de consommation de la classe qui est supérieure d'elle afin d'améliorer son statut social, oblige les classes supérieures à trouver des moyens plus exagérés et innovantes pour pouvoir

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

se différencier et se distinguer de la classe qui les a imité [10,12]. Dans les théories modernes de l'économie, du marketing et de la mode, ce phénomène est connu sous le nom de la théorie ou l'effet de « ruissellement vers le bas» [13]. Les bijoux brodés sont utilisés dans l'habillement depuis longtemps pour créer un attrait de luxe. L'un des exemples les plus marquants de la mode moderne est le cas de la célèbre créatrice Mary McFadden. Son travail est présenté avec clarté par Thérèse Duzinkiewicz-Baker dans son livre Contemporary Fashion [14]. Mary McFadden incorpore dans le vêtement des constructions de bijoux audacieuses inspirées de diverses traditions artistiques. Sa collection présentée à l'automne 1992 s'inspire de bijoux africains fabriqués à partir de divers métaux, de plastiques et de coraux [14]. Plus tard, elle a conçu des vestes boléro avec des détails de carreaux portugais. Son travail explore de nouvelles voies créatives dans la mode, en se concentrant sur la conception de bijoux sculptés et audacieux incorporant de grands motifs intégrés au sein de la structure et de la texture du vêtement. Beaucoup de ses créations peuvent être portés à la fois comme des bijoux ou comme des robes de luxe et peuvent facilement être décrits comme de l'art portable [14]. La figure 2 ci-dessous montre les détails de la robe de Mary McFadden [15].

Figure 2. Robe Mary McFadden des années 1970 ornée de nacres, de paillettes et de perles [15]

Les bijoux qui étaient utilisés dans le passé pour décorer un vêtement, étaient limités et coûteux. Cependant, l'évolution de la production de ces matériaux au cours de ces dernières décennies nous a fournit une très grande variété de perles à broder beaucoup moins chers. Habituellement, les bijoux utilisés pour la décoration des vêtements sont en métal, en verre ou en matériaux synthétiques (figure 3).

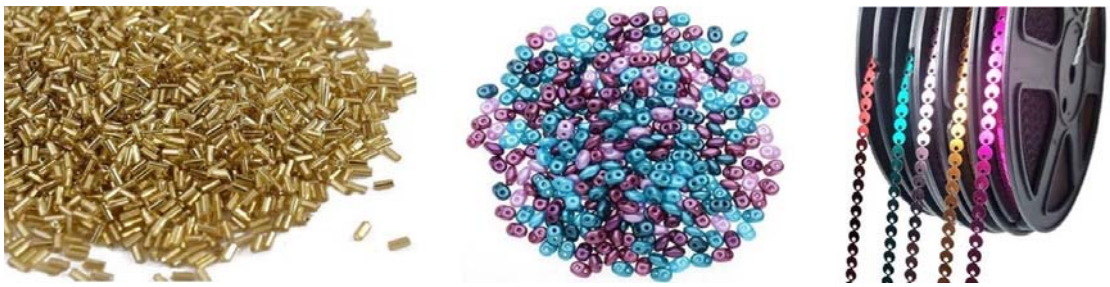


Figure 3. Exemple de matériaux commerciaux pour la décoration de vêtements : perles de tuyaux en verre doré [16], perles en verre à 2 trous [17], bobines à paillettes pour machine à broder [18]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La méthode traditionnelle pour ajouter des nacres, des paillettes et des perles sur un vêtement est la broderie à la main. Bien que cette méthode est appliquée pour la production de vêtements coûteux et à petite quantité, les machines à broder modernes sont entièrement automatisées, permettant ainsi une production rapide à l'echelle industrielle. En utilisant des mécanismes d'alimentation extrêmement rapides et performants, où nacres, paillettes et perles sont brodées en un point précis sous l'aiguille de la brodeuse, ces machines peuvent produire ainsi de très grands motifs ornés de bijoux. Outre la technique de la broderie, les bijoux décoratifs peuvent être appliqués sur les vêtements par soudage ou collage.

4. Allier le cuir avec le textile

L'utilisation de pièces en cuir dans les produits vestimentaires peut donner un aspect unique. En utilisant différents types de cuir, nous pouvons obtenir un look de luxe, de force, d'indépendance, de robustesse ou simplement créer des motifs impressionnants. Outre leur contribution esthétique au style général du vêtement, l'utilisation de pièces en cuir différencie les propriétés techniques d'un vêtement, offrant une stabilité dimensionnelle ainsi qu'une durabilité dans une utilisation à long terme. Ainsi, nous pouvons dire que l'utilisation de pièces en cuir dans les vêtements allie fonctionnalité et créativité.

Dans les figures suivantes, nous pouvons voir des exemples de produits qui combinent le cuir et les matériaux textiles. La figure 4, met en valeur une veste qui combine un tissu de laine et du cuir, ce qui donne un style particulier de vêtement qui est très populaire aux États-Unis [19]. Le devant de la veste est fait de tissu tricoté de haute qualité, ce qui permet au corps de respirer, tandis que les manches sont en cuir. Notant ainsi, que le cuir est un matériau qui résiste aux frottements et à la déformation face à l'utilisation quotidienne. La figure 5 montre une veste qui combine à l'envers le cuir et les matériaux textiles [20]. Le corps de la veste est en cuir velours pour garder le porteur au chaud, tandis que les manches sont en tricot acrylique pour faciliter le mouvement des mains. La figure 6 montre une veste Gucci, qui combine un corps en cuir suédé et des manches en coton tricoté [21]. Il faut noter que les rayures colorées et le détail de l'ornement de la chaîne en métal sur la poitrine, mettent en relief un aspect luxeux au vêtement tout en faisant référence à la marque Gucci. La figure 7 montre une ceinture Gucci [22]. Il est courant dans les ceintures de combiner un tissu coloré et moderne tout en maintenant la stabilité, la durabilité et l'aspect luxueux du cuir. Dans cette ceinture, Gucci utilise une boucle en métal qui fait référence au logo de l'entreprise, donnant un caractère d'un luxe singulier de la marque tout en valorisant sa force.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Figure 4. Veste classique américaine en laine et cuir [19]

Figure 5. Veste pull homme en cuir daim et tricot acrylique [20]

Figure 6. Veste Gucci en cuir daim et manches en coton tricoté [21]

Figure 7. Ceinture Gucci marron GG avec double boucle en G [22]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

5. Accessoires

5.1. Boucles

Bien que les boucles jouent un rôle fonctionnel, leur fonction principale également est de donner au vêtement une décoration unique. Elles sont utilisées pour différencier et donner du style au vêtement, et dans certains cas pour valoriser une marque [7]. Aujourd'hui, il existe différentes boucles qui sont disponibles dans le commerce et qui s'adaptent à différents styles de vêtements. Un exemple de boucle de luxe est illustré dans la figure 8 [23].

Figure 8. Boucle de ceinture métallique avec Strass [23]

Figure 9. Boutons pour des marques de vêtements [24]

5.2. Boutons

Les boutons sont probablement l'accessoire le plus couramment utilisé dans les vêtements. Leur objectif principal est fonctionnel. Cependant, ils peuvent être utilisés pour différencier un vêtement et lui donner un aspect unique. Les grandes marques utilisent leurs boutons conçus sur mesure et personnalisés afin de différencier leurs produits. Même lorsqu'elles utilisent des boutons très simples, elles affichent leur logo pour les rendre uniques. Sur le marché actuel, il est très facile de trouver des boutons prêts à être livrés donnant un style unique à un vêtement, tandis que pour les grandes commandes, il est abordable pour un fabricant de vêtements d'obtenir ses boutons spécialement conçus. Dans la figure 9, sont présents quelques exemples de boutons disponibles dans le commerce [24].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

5.3. Tirettes de fermeture éclair

Les fermetures éclairs sont des éléments purement fonctionnels des vêtements. Cependant, la tirette de la fermeture éclair peut être un élément de différenciation du produit. Elle est fabriquée à partir de différents matériaux, de différentes formes et peut refléter l'identité et le style d'une marque. La figure 10 montre quelques exemples de ces tirettes à fermeture éclair [25].

5.4. Rubans, bandes et tresses

Une grande variété de types de rubans, de bandes et de tresses fabriqués en textile peuvent être utilisés pour décorer un vêtement. Les rubans peuvent également être utilisés pour renforcer la structure du vêtement et, dans de nombreux cas, ils affichent le nom de marque ou le logo d'une entreprise. La figure 11 montre quelques exemples [26].

Figure 10. Exemples de tirettes à fermeture éclair disponibles dans le commerce [25]

Figure 11. Exemples de rubans et de bandes disponibles dans le commerce [26]

5.5. Dentelles

La dentelle est un élément très distinct et puissant pour la décoration des vêtements pour femmes. Traditionnellement, les dentelles sont utilisées dans les robes de soirée et la lingerie. Cependant, dans le design de mode moderne, ells sont également utilisées pour créer un mélange de décontraction et de luxe. La figure 12 montre des exemples de garnitures en dentelle [27].

5.6. Glands

Les glands ne se trouvent pas souvent dans les vêtements. Cependant, ils sont parfois utilisés par les créateurs de mode pour créer un effet esthétique très particulier. La figure 13 montre un exemple de glands en fil de soie [28].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Figure 12. Exemples de garnitures en dentelle disponibles dans le commerce [27]

Figure 13. Exemple de glands en fil de soie [28]

5.7. Chaînes décoratives

Les chaînes décoratives sont un moyen pour donner un aspect luxueux au vêtement en particulier aux produits de la mode féminine. Des exemples de chaînes décoratives sont présentés dans la figure 14 [29,30,31].

Figure 14. Exemples de chaînes décoratives, [29,30,31, dans l'ordre d'apparition]

5.8. Étiquettes

Les étiquettes reflètent l'identité d'une marque et influencent la perception des consommateurs quant à la valeur du vêtement. Si elles sont affichées sur la face du vêtement, elles peuvent en modifier son apparence. Elles sont généralement en tissu, mais certaines marques utilisent des étiquettes en cuir ou en métal pour valoriser et promouvoir la valeur d'un produit et le différencier de ses semblables. Un tel exemple est illustré dans la figure 16 [32].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Figure 15. Étiquette d'une marque de luxe [32]

5.9. Les étiquettes accrochées

Les étiquettes n'affectent pas l'apparence d'un vêtement. Cependant, ils peuvent affecter la perception globale des consommateurs sur le style d'un vêtement et contribuer à sa différenciation. Leur variété en termes de matériaux et de créativité est illimitée. Elles peuvent être à la mode selon l'idée et le style de n'importe quel vêtement. Des exemples d'étiquettes sont présentés dans la figure 16 [33].

papier spécial	CHLORURE DE POLYVINYLE	toile	cuir	métal	bois

Figure 16. Exemples d'étiquettes de vêtements [33]

6. Emballage

L'emballage peut différencier et ajouter de la valeur à un produit sur le point de vente. Comme nous l'avons vu précédemment, l'image de marque est un processus continu qui inclut une stratégie visant à amener le client à vivre une expérience positive unique dans chaque contact avec une entreprise.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Ainsi, un emballage soigneusement conçu peut refléter l'identité d'une entreprise et influencer l'expérience globale du client. L'emballage extérieur comprend des boîtes et des sacs spéciaux, tandis que l'emballage intérieur comprend des types spéciaux de papier d'emballage, tels que du papier de riz mince ou du papier recyclé, et des feuilles de papier plus épaisses pour maintenir la stabilité du vêtement plié. Pour maintenir stable un vêtement plié, des épingles ou des pinces en métal ou en plastique peuvent être utilisés. Lors de la conception de l'emballage des vêtements, nous devons tenir compte de l'impact de ce dernier sur la chaîne d'approvisionnement. Les matériaux d'emballage plus grands et plus lourds augmentent le coût du produit dans la chaîne d'approvisionnement, tandis que les emballages de volume plus petits permettent de transporter plus d'articles dans le même conteneur, affectant ainsi les performances de la chaîne d'approvisionnement.

7. Matériaux complémentaires

Les matériaux complémentaires qui accompagnent un produit, comme les brochures, les petits livres, les pièces de rechange supplémentaires , comme les boutons ou les fils, et les cadeaux tels que les porte-clés ou les pendentifs, permettent de différencier un produit et de valoriser son image de marque. En d'autres termes, le matériel complémentaire est l'expression d'une entreprise qui valorise ses produits et se soucie de ses clients.

Figure 17. Étiquette vestimentaire avec texte [34]

8. Exprimez les valeurs de votre marque avec du texte

La narration est un outil puissant pour communiquer vos valeurs. En utilisant des textes soigneusement écrits sur des étiquettes, des matériaux d'emballage ou des brochures qui accompagnent un produit, vous pouvez différencier votre entreprise des autres, communiquer les valeurs de votre marque et renforcer la fidélité de vos clients. La figure 17 en est un exemple [34].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

References

[1] E. Chamberlin, The theory of monopolistic competition; a re-orientation of the theory of value. Cambridge, Harvard University Press, 1969.

[2] C. M. Kopp (2021, Mar. 03). Product Differentiation, Investopedia. [En ligne]. Disponible sur : https://www.investopedia.com/terms/p/product_differentiation.asp [Consulté le : Mai 3, 2021].

[4] M. E. Porter, Competitive Strategy, The Michael E. Porter trilogy. New York: The Free Press, 1980.

[5] M. E. Porter, Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. New York: The Free Press, 1985.

[6] X.S. Spencer, A.T. Joiner, and S. Salmon, (2009). Differentiation Strategy, Performance Measurement Systems and Organizational Performance: Evidence from Australia. International Journal of Business, Vol. 14(1)

[7] M. Easey, Fashion Marketing, 3rd ed. Oxford; Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2009.

[8] Design Council (2019, Sep., 03). The Double Diamond: 15 years on, www.designcouncil.org.uk. [en ligne]. Disponible sur : https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/double-diamond-15-years [Consulté le : Mai 3, 2021].

[9] U.Okonkwo, Luxury fashion branding - trends, tactics, techniques. Palgrave Macmillan, 2007.

[10] M. Carter, Fashion classics from Carlyle to Barthes. Oxford ; New York: Berg, 2003.

[11] H. Spencer, The principles of sociology. New York and London, D. Appleton and company,1924.

[12] T. Veblen (1899), The Theory of the Leisure Class. 2013, Columbia [Online]. Disponible sur : http://moglen.law.columbia.edu/LCS/theoryleisureclass.pdf [Consulté le : Mai 3, 2021].

[13] M. R. DeLong (2013), Theories of Fashion, www.lovetoknow.com. [en ligne]. Disponible sur : https://fashion-history.lovetoknow.com/fashion-history-eras/theories-fashion [Consulté le : Mai 3, 2021].

[14] T. Duzinkiewicz Baker; updated by S. Benét, "McFADDEN, Mary" in Contemporary Fashion, T. Benbow-Pfalzgraf, St. James Press. 2002, pp. 465

[15] Etsy.com. Small 1970s Mary McFadden Couture Pleated Dress Long Sleeve Beaded Sequins Broomstick Pleats Wedding Formal New Years Vintage Dress. www.etsy.com. [[en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.etsy.com/listing/658892391/small-1970s-mary-mcfadden-couture [Consulté le : Mai 3, 2021].

[16] Amazon.com. The Design Cart Silverline Golden Pipe Beads/Bugle Beads/Glass Beads (4.5 mm) (450 Grams), for – Jewellery Making, Beading, Embroidery, Art and Craft: Everything Else. www.amazon.com. [en ligne]. Disponible sur : https://www.amazon.com/Design-Cart-Silverline-Golden-Beads/dp/B079S7ZQN3 [Consulté le : Mai 3, 2021].

[17] Amazon.com. Beadsmith BCT-609 Victorian Elegance 24g Czech Glass 2-Hole Seed Beads Tube, 5.5 x 3.5mm: Arts, Crafts & Sewing. www.amazon.com. [en ligne]. Disponible sur : https://www.amazon.com/Beadsmith-BCT-609-Victorian-Elegance-2-Hole/dp/B00PSTCFE2 [Consulté le : Mai 3, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[18]Alibaba.com. Sy Oem Pet Plain/matt Sequin Roll 2-9mm Sequin Reels Made Of Pet Thin Films For Embroidery. www.alibaba.com. [en ligne]. Disponible sur : https://www.alibaba.com/product-detail/SY-OEM-PET-Plain-Matt-Sequin_1600065832551.html [Consulté le : Mai 3, 2021].

[19]Jacketshop.com. Jacketshop Jacket C137, www.jacketshop.com. [Online]. [en ligne]. Disponible sur : https://jacketshop.com/eu/jacket/c137 [Consulté le : Mai 3, 2021].

[20]RustyZipper.com. 1970's Troy Hill Ltd Mens Leather Sweater, www.rustyzipper.com. [en ligne]. Disponible sur : https://www.rustyzipper.com/shop.cfm?viewpartnum=172935-MM8079 [Consulté le : Mai 3, 2021].

[21]Lyst.com. Gucci Brown Suede And Knit Cotton Bomber Jacket for men, www.lyst.com. [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.lyst.com/clothing/gucci-suede-and-knit-cotton-bomber-jacket [Consulté le : Mai 3, 2021].

[22]Lyst.com. Gucci Brown GG Belt With Double G Buckle, www.lyst.com. [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.lyst.com/accessories/gucci-gg-belt-with-double-g-buckle [Consulté le : Mai 3, 2021].

[23]Global sewing supplies. Buckles & Brooches. www.globalsewingsupplies.com. [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.globalsewingsupplies.com/en-gb/buckles-brooches [Consulté le: Mai 3, 2021].

[24]ClothingLabels.cn. (2021, Apr. 28) Clothing buttons for garment brand. www.clothinglabels.cn. [[en ligne]. Disponible à l'adresse :https://www.clothinglabels.cn/clothing-buttons/ [Consulté le : Mai 3, 2021].

[25]ClothingLabels.cn. (2020, May 18) Custom zipper puller for garments. www.clothinglabels.cn. [en ligne]. Disponible sur : https://www.clothinglabels.cn/zipper-puller/ [Consulté le : May.4, 2021].

[26]ClothingLabels.cn. (2020, Apr. 28) Garment tape for clothing brands. www.clothinglabels.cn. [Online]. Disponible sur : https://www.clothinglabels.cn/garment-tape/ [Consulté le : Mai 4, 2021].

[27]ClothingLabels.cn. (2020.May 20) Lace trims for fashion brands. www.clothinglabels.cn. [en ligne]. Disponible sur : https://www.clothinglabels.cn/lace-trims/ [Consulté le : Mai 4, 2021].

[28]AliExpress. 20pcs/lot 26 Colors Available Silk Tassels DIY Polyester Tassel 13cm Tassels for Gift Decoration Handmade Accessories. www.aliexpress.com. [en ligne]. Disponible sur : https://www.aliexpress.com/item/32988398469.html [Consulté le : Mai 3, 2021].

[29]Global sewing supplies. (2021) Decorative Garment Chain Art. CN -7742. www.globalsewingsupplies.com. [en ligne]. Disponible sur : https://www.globalsewingsupplies.com/en-gb/garment-decorative-chains-coat-hanging-chains/garment-decorative-chains-art-cn-7742-06-175 [Consulté le : Mai 3, 2021].

[30]AliExpress. (2020) 10yards 2 3 4mm Close set crystal rhinestone cup chain SS16 Czech stones Rose Gold Silver for DIY Browbands Garment Accessories. www. aliexpress.com. [en ligne]. Disponible sur : https://www.aliexpress.com/item/507692383.html [Consulté le : Mai 3, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[31]Alibaba.com. Gold Decorative Garment Chain For Clothes Accessories. www.alibaba.com. [Online]. Disponible sur : https://www.alibaba.com/product-detail/gold-decorative-garment-chain-for-clothes_60723350177.html [Consulté le : Mai 3, 2021].

[32]R. Baird (2014, Apr. 15). New Brand Identity for Roberto Revilla by Friends - BP&O. BP&O – Branding. [en ligne]. Disponible sur : https://bpando.org/2014/04/15/logo-roberto-revilla [Consulté le : Mai 3, 2021].

[33]YiLang Garment Accessories Co. Ltd. Kraft Hang Tag with Spare Button Bag. www.labelsmfg.com. [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.labelsmfg.com/hang-tag/paper-hang-tag/kraft-hang-tag-with-spare-button-bag.html [Consulté le : Mai 5, 2021].

[34]Wuhan Sinicline Enterprise Co., Ltd., Sinicline Paper Envelope Hang Tag Label with Luxury Design Photos & Pictures. www.made-in-china.com. [en ligne]. Disponible sur : https://sinicline.en.made-in-china.com/productimage/asAmJzHoViVu-2f1j00hfHYNyoWaEqG/China-Sinicline-Paper-Envelope-Hang-Tag-Label-with-Luxury-Design.html [Consulté le : Mai 3, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1: Lesquels des cinq éléments clés du design de mode sont influencés par l'intégration d'accessoires et d'articles fonctionnels dans les vêtements ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) style, silhouette, couleur et performances techniques
b) style, silhouette, texture et performances techniques
c) style, silhouette, texture et couleur

Question 2: Lequel des accessoires suivants n'influence pas l'apparence du vêtement ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) emballages, étiquettes et matériaux complémentaires
b) emballages, étiquettes, étiquettes
c) emballages, rubans adhésifs et matériaux complémentaires

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 4.4. Concevoir dans la haute couture et les secteurs spéciaux

Evangelos Louris
Université de l'Attique occidentale (UNIWA)

1. Méthodologie de conception

L'une des méthodologies les plus modernes pour la conception et le développement de nouveaux produits ou services est la méthodologie dite du « design thinking ». Il existe différentes versions de cette méthodologie, mais la plus répandue est la méthodologie Double Diamond ou autrement 4D, qui a été introduite par le British Design Council [1]. Cette méthodologie est représentée par un diagramme en forme de deux diamants joints. Chaque diamant est divisé en deux « phases de conception », soit au total quatre phases « D » successives : Découvrir, Définir, Développer et Livrer. Le diagramme de la figure 1 présente la méthodologie de design thinking du Double Diamond ou 4D, avec les principales activités qui sont réalisées dans chaque phase [2]. Les deux phases Découvrir et Développer correspondent à la « pensée divergente », tandis que les phases Définir et Livrer correspondent à la « pensée convergente ». Dans la « pensée divergente », nous essayons de créer autant d'idées ou de recueillir autant d'informations que possible sur notre nouveau produit. Dans la « pensée convergente », nous limitons les idées et filtrons les informations issues de la phase précédente afin d'atteindre la meilleure solution possible. L'étape la plus critique de la méthodologie du design thinking est la première phase de découverte. Dans cette phase, nous devons recueillir par tous les moyens possibles toutes informations qui nous aidera à comprendre nos clients (empathie de nos clients) et nos concurrents. Sur la base des connaissances acquises lors de la phase initiale de « découvrir », nous pouvons continuer dans les phases suivantes de la méthodologie de design thinking pour développer des produits qui se diffèrent de la concurrence et répondent aux besoins de nos clients potentiels d'une manière unique.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

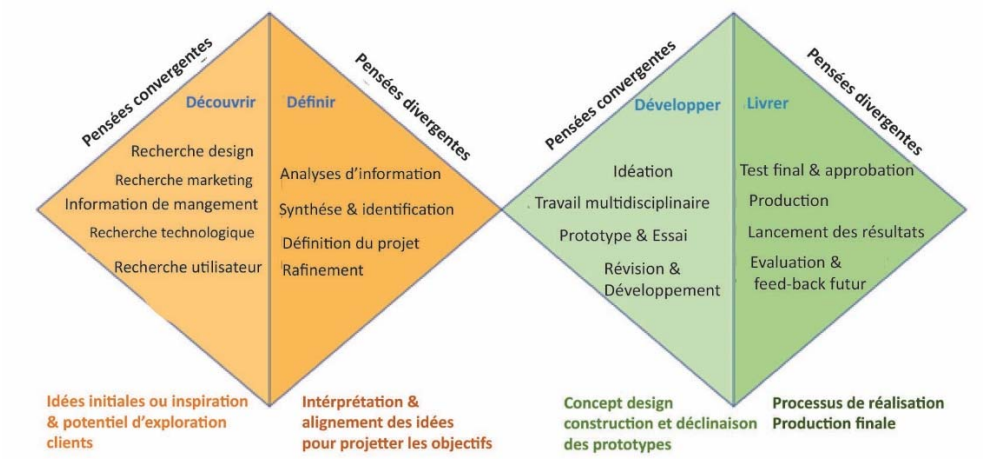


Figure 1. La méthodologie de design thinking 4D ou Double Diamond

La figure 2 présente une adaptation de la méthodologie « 4D design thinking » au processus de développement des produits de mode.

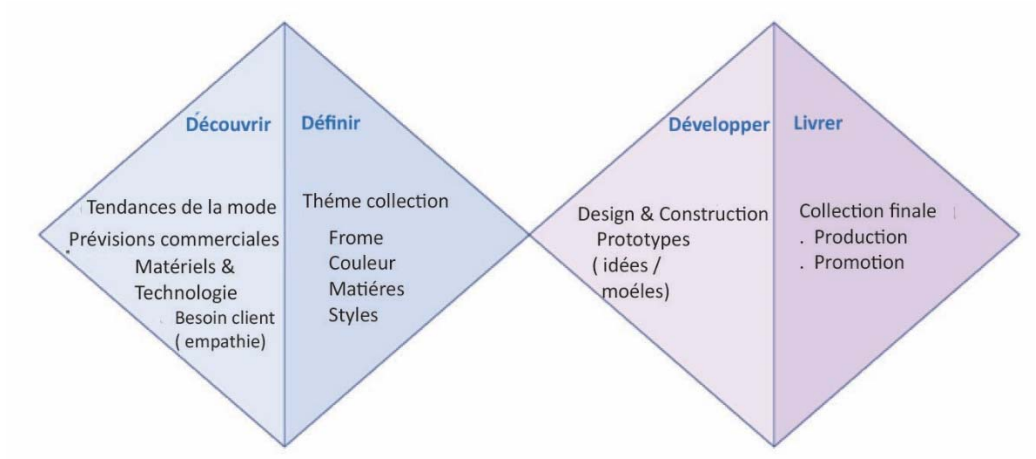


Figure 2. La méthodologie de design thinking 4D ou Double Diamond dans la mode

Pour résumer les éléments qui différencient un vêtement, on peut définir trois dimensions générales :

- Apparence
- Qualité
- Fonctionnalité

L'apparence concerne l'esthétique d'un vêtement et comprend la forme, la couleur, la texture et le style général.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La qualité concerne les matériaux et les méthodes qui ont été utilisés dans la fabrication du vêtement. Dans de nombreux cas, la qualité est visible et affecte l'apparence du vêtement. Cependant, même si deux vêtements de qualité différente se ressemblent, les clients peuvent choisir en fonction des matériaux et des méthodes qui ont été utilisés pour leur production. Le toucher et la sensation d'un vêtement sur la peau peuvent être considérés comme un attribut lié à la qualité. La durabilité d'un vêtement lors d'une utilisation à long terme est également considérée comme une caractéristique de qualité car elle est directement liée aux matériaux utilisés et à la qualité de la conception.

La fonctionnalité fait référence à toute fonction spéciale qu'un vêtement peut offrir.

En fonction du type de produit, une entreprise peut utiliser une combinaison différente des trois dimensions ci-dessus afin de parvenir à différencier son produit. De la même manière, une entreprise peut se concentrer et s'investir dans une combinaison différente de trois dimensions ci-dessus afin de créer une image de marque unique sur le marché. Par exemple, une entreprise de haute couture investira dans les dimensions de l'apparence et de la qualité, tandis qu'une entreprise qui produit des chaussettes pour les athlètes investira dans les dimensions de la qualité et de la fonctionnalité.

2. Articles de haute couture

Comme le suggère Elisa Giacosa [3], lorsque nous étudions la mode de luxe, nous devons considérer deux catégories de marché distinctes, la mode de luxe « non abordable » et la mode de luxe « abordable ».

La mode de luxe non abordable fait référence aux produits qui ont été créés en éditions limitées ou en une seule pièce. Ces produits sont faits à la main ou semi-artisanaux et sont souvent personnalisés ou adaptés aux besoins d'un client cible. Ces produits sont d'une qualité et d'une créativité exceptionnelles et ont un prix très élevé qui est abordable pour très peu de gens [3].

La mode de luxe abordable fait référence à des produits qui maintiennent un niveau de qualité relativement élevé et une créativité limitée, mais qui sont produits en de nombreux exemplaires et sont abordables pour de nombreuses personnes. Les produits de mode de luxe abordables avec l'étiquette d'une marque de mode de luxe non abordable reflètent toujours le prestige de la marque et sont considérés comme prestigieux et distinctifs par les consommateurs. Même si le produit est très similaire à d'autres sur le marché, l'étiquette d'une marque de mode de luxe non abordable lui donne plus de valeur. Porter un article de luxe abordable crée un sentiment d'appartenance à la classe sociale supérieure [3]. Giacosa a analysé plus en détail la typologie des deux catégories dans le tableau 1.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Tableau 1. Typologies du luxe par Elisa Giacosa [3]

Luxe non abordable	Luxe abordable
Haute qualité	Qualité
Haute créativité	Créativité
Exclusivité	-
Rareté	Haute disponibilité
Fait à la main (semi-artisanal)	-
Prix élevé	Prix abordable

Dans les deux catégories de mode de luxe non abordable et abordable, les principales dimensions de la différenciation des produits sont l'apparence et la qualité. Les marques de mode de luxe non abordables se concentrent sur la création de modèles uniques, l'utilisation de matériaux coûteux et rares, et dans la conception et la réalisation est très précise. Les marques de mode de luxe abordables suivent les tendances générales du marché en ce qui concerne le style, les formes et les couleurs des vêtements, mais elles essaient de les différencier en appliquant une certaine décoration ou de petits changements dans le design et en utilisant des matériaux plus chers qui donnent une qualité supérieure et une texture différente. Une différenciation supplémentaire peut être obtenue en utilisant des matériaux innovants. La qualité est liée non seulement aux matériaux, mais aussi à la réalisation d'un vêtement. Les marques de mode de luxe doivent investir dans un système efficace de contrôle de la qualité "zéro défaut" pour assurer la haute qualité de leurs produits.

La fonctionnalité n'est pas critique dans la mode de luxe, mais l'ajout d'une fonction spéciale au vêtement peut être évalué positivement par les clients, par exemple en ajoutant la fonctionnalité entretien facile à une chemise de luxe pour hommes.

3. Vêtements pour enfants

La plupart des marques de vêtements pour enfants suivent une stratégie de différenciation des produits comme celle des marques de luxe abordables, en se concentrant principalement sur la dimension de l'apparence puis de la qualité. Elles suivent les tendances générales du marché en ce qui concerne le style, les formes et les couleurs des vêtements, mais essaient de les différencier en appliquant une décoration, en utilisant des couleurs plus audacieuses et en apportant de petits changements dans le design. Une grande partie des vêtements pour enfants imite la mode pour adultes et de nombreux modèles sont des versions miniatures des vêtements pour femmes et pour hommes (figure 3). Une autre grande partie des vêtements pour enfants pour un usage quotidien comprend des motifs décoratifs inspirés des contes de fées, des films d'animation et des super-héros, qui changent le look et le rendent plus attrayant pour les enfants (figure 4). Les jeunes garçons

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

portant des vêtements avec des figures de super-héros, s'imaginent qu'ils possèdent des super-pouvoirs et font partie d'un monde fantastique de super-héros. Les jeunes filles qui portent des vêtements décorés de bijoux ou de figures de contes de fées, s'imaginent qu'elles sont de jeunes princesses de contes de fées.

Figure 3. Burberry vêtements pour enfants imitant la mode de la marque pour adultes [4]

Figure 4. T-shirt M&S Cotton Spider-Man™ avec paillettes [5]

Les marques de vêtements pour enfants sont coûteux et se concentrent davantage sur la dimension Qualité. Ils différencient leurs produits en utilisant des matériaux de haute qualité et une fabrication plus soignée. Les matériaux de haute qualité concernent principalement les fibres naturelles, comme le coton, qui minimisent le risque d'irritation de la peau et offrent une durabilité dans l'utilisation quotidienne et les lavages fréquents. Ces dernières années, le coton biologique est devenu le matière qui caractérise les vêtements haute gamme pour enfants. En outre, les marques de haute gamme pour enfants s'investissent dans leur certification selon des normes mondialement reconnues telles que OEKO-TEX®.

En ce qui concerne la fonctionnalité, la caractéristique la plus courante que certaines entreprises de vêtements pour enfants ajoutent à leurs produits est la protection contre les rayons UV.

4. Lingerie

Le terme « lingerie » vient de la langue Française et signifie sous-vêtements. Aujourd'hui, il désigne principalement les sous-vêtements pour femmes et d'autres vêtements fins et légers destinés à un

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

usage intérieur privé. La lingerie comprend une large gamme de produits différents qui peuvent être regroupés dans les types suivants:

- about:blank Soutien-gorge, qui est l'abréviation du mot Français «brassière».
- Culotte.
- Bonneterie, qui fait référence à tout vêtement qui couvre les pieds et les jambes. Bien que la bonneterie est liée à la lingerie, elle peut être considérée comme une catégorie de vêtements distincte.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Garter_(stockings)Jarretière et porte-jarretelle, qui sont utilisées pour maintenir les bas.
- Shapewear, qui fait référence aux sous-vêtements moulants utilisés pour donner une meilleure forme au corps, comme un corset ou une gaine.
- Teddy, qui est un sous-vêtement ayant la forme d'un maillot de bain.
- Vêtement de nuit, comme la camisole, la chemise, le déshabillé, la chemise de nuit, le pyjama.
- Robes de chambre.

La lingerie est conçue de tissus doux et légers, qui sont généralement des tissus satinés, tissés unis ou en chaîne. Les matériaux utilisés pour la lingerie sont des fibres naturelles, comme la soie ou le coton, ou des fibres synthétiques, comme le lycra, le nylon, le polyester ou le spandex. Selon la matière utilisée et la structure du tissu, les articles de lingerie sont extensibles, brillants, diaphanes ou même transparents. Il est très courant d'utiliser des lacets pour les décorer et leur donner un aspect différent.

Bien qu'il soit parfois difficile de distinguer les différents types de vêtements de nuit, c'est que chaque type présente certaines caractéristiques. La camisole ou le cami est un sous-vêtement ample et sans manches s'étendant jusqu'à la taille. La camisole n'est normalement pas diaphane ou transparente et peut également être portée comme vêtement de dessus. La nuissette est un sous-vêtement ample et sans manches s'étendant sur une longueur qui recouvre partiellement la culotte et est généralement vendu comme un ensemble avec une culotte assortie. La Chemise est un sous-vêtement sans manches plus long s'étendant sur une longueur qui recouvre la culotte. C'est le seul type de vêtements de nuit qui a un ajustement plus serré autour de la taille. Le déshabillé est un sous-vêtement ample, généralement plus long que les trois types précédents et a souvent des manches. La chemise de nuit est la plus longue de tous les autres types, s'étendant sous les genoux et peut être à manches longues ou courtes ou sans manches. Traditionnellement, les chemises de nuit sont utilisées par les hommes et les femmes et sont faites de tissus opaques. Cependant, certaines chemises de nuit modernes pour femmes sont plus courtes et faites de tissus transparents, ressemblant ainsi à des déshabillés. L'attribut le plus important des vêtements de nuit est le confort. C'est pourquoi, les formes des vêtements de nuit sont amples et les matériaux utilisés offrent un toucher doux et agréable en contact avec la peau.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les marques de la lingerie se concentrent principalement sur la dimension de l'apparence afin de différencier leurs produits. Les marques exclusives de la lingerie coûteuse prennent également en considération la dimension de la qualité et préfèrent utiliser des matériaux naturels comme la soie ou le coton biologique, au lieu de substituts de fils synthétiques moins chers.

Figure 5. Camisole ou Cami [6].

Figure 6. Chemise [7].

Généralement, la dimension de la fonctionnalité n'est pas un facteur clé dans la lingerie. Cependant, dans certains types de lingerie, cet aspect devient plus important que les deux autres dimensions. Les sous-vêtements conçus pour soutenir et améliorer la forme du corps, tels que les soutiens-gorge et les vêtements de corps, doivent d'abord être conçus pour la fonctionnalité, puis pour l'apparence. Pour cette raison, certaines marques investissent principalement dans la dimension Fonctionnalité pour se différencier de la concurrence. Ces marques combinent de nouvelles approches d'ingénierie avec des matériaux innovants pour créer des produits aux performances fonctionnelles supérieures.

Une autre source de différenciation dans les sous-vêtements ces dernières années, est la tendance à utiliser des sous-vêtements dans le cadre de l'apparence extérieure. Traditionnellement, les sous-vêtements n'étaient pas visibles par les autres. Cependant, selon les tendances modernes, un sous-

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

vêtement peut faire partie de l'apparence extérieure ou même être porté comme vêtement extérieur. Cela donne aux marques de mode la possibilité de concevoir de nouveaux produits qui peuvent être utilisés à la fois comme sous-vêtements et comme vêtements d'extérieur.

5. Bonneterie

La bonneterie fait référence à tout vêtement qui couvre les pieds et les jambes. Les articles de bonneterie sont fabriqués à partir de tissus tricotés en trame ou en chaîne, en raison de leurs propriétés inhérentes de flexibilité et d'élasticité, sinon de leur capacité à se plier et en épousant facilement la forme du corps. Les produits de bonneterie sont répartis selon les catégories suivantes:

- **Chaussettes**. Il s'agit de la catégorie la plus courante de la bonneterie. Les différents types de chaussettes sont présentés dans la figure 7 [8].
- **Collants ou pantyhoses** (anglais américain). Ils couvrent la partie inférieure du corps jusqu'à la taille et sont surtout utilisés dans la mode féminine.
- **Bas**. Ils atteignent une hauteur au-dessus du genou et sont maintenus par des « stay-ups », qui sont des bandes élastiques sur le haut des chaussettes, ou par un porte-jarretelles (ceinture à bretelles), qui se porte autour de la taille. Aujourd'hui, elles ne sont plus si courantes, car elles ont été remplacées par les collants.
- **Bas de corps**. Ils couvrent tout le corps et sont des sous-vêtements spéciaux qui sont principalement utilisés pour créer un look sexuel particulier.
- **Leggings**. Ils suivent la forme des collants mais sont fabriqués dans un tissu plus épais et sont utilisés comme vêtements de dessus pour les femmes et les hommes.
- **Bas de compression**. Cette catégorie comprend des produits de bonneterie spéciaux conçus pour appliquer une pression sur des zones spécifiques des jambes afin d'améliorer certaines fonctions physiologiques du corps humain.

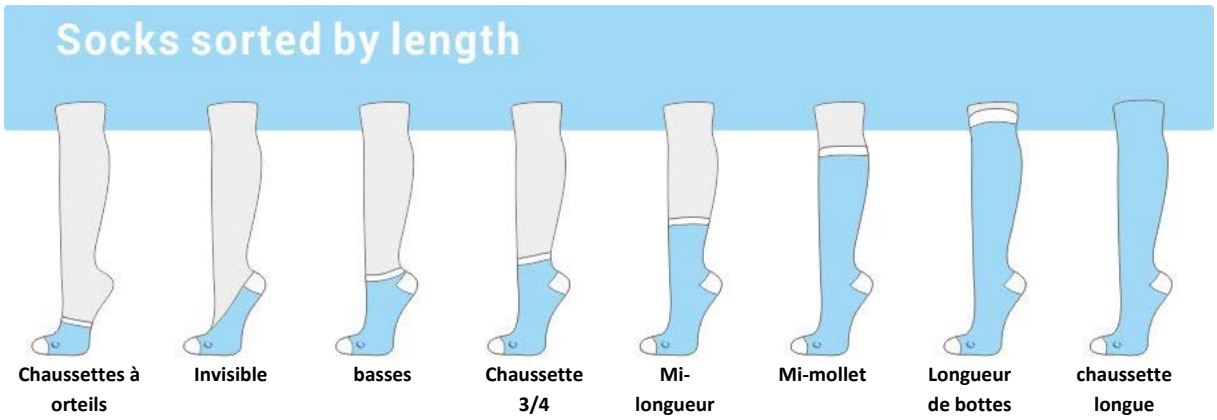


Figure 7. Types de chaussettes [8]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Généralement, les produits de bonneterie font partie des produits de mode, ainsi la dimension de l'apparence est le facteur le plus important pour la différenciation d'un produit à un autre. Les exceptions à cette règle générale sont certains types de produits de la bonneterie, tels que les chaussettes et les leggings pour les sports et les activités de plein air ou les bas de compression, dans lesquels la fonctionnalité est plus importante que l'apparence. Ces produits de bonneterie sont appelés sous-vêtements fonctionnels ou vêtements de sport et sont étudiés plus en détail dans la section suivante.

La deuxième dimension générale la plus importante de la différenciation des produits de la bonneterie est la qualité. Les entreprises du secteur de la bonneterie peuvent utiliser des matériaux naturels plus coûteux, comme la laine mérinos, la soie ou le coton biologique, ou des fibres synthétiques plus avancées, pour différencier leurs produits et renforcer leur marque sur le marché.

Un bon exemple de différenciation de produits basée sur la combinaison des deux dimensions de l'apparence et de la qualité est ce que l'on appelle les « Jeggings », une marque déposée de la société ISKO du groupe Sanko [9]. Le nom « Jeggings » est une combinaison des mots « Jeans » et « Leggings » et fait référence aux leggings qui ont l'apparence d'un jean, comme le montre la figure 8 [10]. ISKO, l'un des plus grands fabricants de jeans au monde, a développé un tissu denim ultra-extensible à léger qui est idéal pour les leggings. En utilisant de nouveaux matériaux et une technologie de tissage au lieu du tricotage traditionnel pour les leggings, ISKO a créé un produit unique avec une qualité et une apparence complètement différentes.

Outre less matériaux utilisés et la sensation respective qu'ils procurent, comme par exemple un toucher doux, la qualité est également liée à d'autres caractéristiques importantes, telles que la qualité de la construction du vêtement ou son ajustement au corps. Surtout dans les articles de bonneterie, un bon ajustement est très important. Ils doivent être assez serrés, mais pas au point de devenir désagréables ou de créer des difficultés dans la circulation sanguine normale.

Figure 8. Exemple de Jeggings [10].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

6. Sous-vêtements fonctionnels et vêtements de sport

Les sous-vêtements fonctionnels et les vêtements de sport se concentrent principalement sur la dimension de la fonctionnalité. Les vêtements de sport font référence à tous les types de vêtements conçus pour être utilisés dans les sports (vêtements de sport) et les activités de plein air. Selon une enquête de Cotton Incorporated Lifestyle Monitor™ [11], 83 % des consommatrices et 79 % des consommateurs masculins préfèrent les sous-vêtements en coton, tandis que la majorité des hommes et des femmes (70 %) déclarent préférer payer un peu plus cher pour les sous-vêtement en coton plutôt qu'en synthétiques. Bien que le coton semble être la matière préférée pour les sous-vêtements de tous les jours, ce dernier ne convient pas aux sports intenses ou aux activités de plein air dans des conditions climatiques extrêmes. Les nouvelles structures en tissus légers, entièrement constitués de matériaux synthétiques ou combinant également des fibres naturelles, sont conçues de manière à offrir des performances fonctionnelles supérieures à celles des vêtements de tous les jours. En fonction de l'activité, de l'intensité de l'exercice et des conditions environnementales, différents types de sous-vêtements fonctionnels et de vêtements de sport sont conçus. Certains types d'activités de base qui nécessitent différents types de sous-vêtements fonctionnels et de vêtements de sport sont:

- Gym et entraînement physique
- Sports et course à pieds
- Cyclisme
- Randonnée et escalade en montagne
- Ski
- Voile
- Lutte contre l'incendie
- Opérations militaires et tactiques

Les principales caractéristiques que l'on peut trouver dans les sous-vêtements fonctionnels et les vêtements de sport sont:

Contrôle de l'humidité ou évacuation de l'humidité. Cette propriété permet de transférer la sueur de la surface interne à la surface extérieure du tissu. La sueur est réliminée du corps puis s'évapore, tandis que la peau reste sèche. Les sous-vêtements et les vêtements de sports dotés de cette fonction maintiennent un haut niveau de confort et aident le porteur à avoir de meilleures performances pendant une longue période. Le contrôle de l'humidité est généralement réalisé avec des tissus à deux couches constitués d'une couche interne de fibres synthétiques hydrophobes et d'une couche externe de fibres hydrophiles telles que le coton. La sueur est transférée à travers la couche hydrophobe à la couche hydrophile et s'évapore progressivement, laissant ainsi la peau

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

sèche. Cette fonction réduit également les odeurs car les bactéries ne peuvent pas se développer sur une peau sèche.

Contrôle de la température ou du climat. Il fait référence à la thermorégulation du microclimat qui se développe entre le corps et les vêtements. C'est l'effet combiné de l'isolation thermique et de la respirabilité du tissu qui est également affecté par le contrôle de l'humidité. Ainsi, nous pouvons utiliser le terme contrôle du climat pour décrire l'effet combiné du contrôle de l'humidité et du contrôle de la température. Les vêtements de sports pour le temps chaud doivent garder le corps au frais (figure 9), tandis que les vêtements de sports pour le temps froid doivent garder le corps au chaud (figure 10). Cela peut être réaliser en équilibrant l'isolation thermique et la respirabilité du tissu.

Contrôle antimicrobien. Une finition spéciale qui applique des particules d'argent sur les fibres entraîne la fonctionnalité antimicrobienne d'un tissu. Une autre option est l'ajout de nanoparticules de charbon de bambou dans les fibres de coton ou de polyester. Ces fibres de charbon de bambou présentent une fonction antimicrobienne et éliminent les mauvaises odeurs.

Figure 9. Sous-vêtements de sports BMW pour le temps chaud [12]

Figure 10. Sous-vêtements de sports pour enfants par temps froid [13]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Contrôle de l'abrasion. Il vise à réduire l'abrasion qui peut provoquer des irritations et des blessures de la peau. Les chaussettes pour orteils en sont un exemple : elles réduisent la friction entre les orteils et éliminent le risque d'ampoules lors de la marche ou de la course à pieds à longues distances [14] (Figure 11). Un autre exemple est le pantalon de sport pour les cyclistes.

Figure11. Bas de compression[14]

Contrôle de la compression. Les bas de compression sont utilisés à des fins médicales et orthopédiques depuis de nombreuses décennies, mais aujourd'hui, ils sont également utilisés pour augmenter les performances des athlètes. Les jambes sont les parties du corps les plus éloignées du cœur. En appliquant une pression, le diamètre des veines de la jambe diminue, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse du flux sanguin et de l'efficacité des valves cardiaques. En utilisant des bas de compression, le cœur nécessite moins d'effort pour faire circuler le sang vers et depuis les jambes, ce qui augmente les performances globales du corps [15].

La dimension la plus critique dans la conception de sous-vêtements fonctionnels et de vêtements de sport est sans aucun doute la fonctionnalité. La deuxième dimension la plus importante est la qualité, qui est liée aux matériaux, à la qualité de la fabrication et à la durabilité du vêtement dans l'utilisation à long terme. La dimension de l'apparence a été sous-estimée jusqu'à récemment. Cependant, l'émergence du style vestimentaire « Athleisure » ces dernières années, suscite un grand intérêt également pour différencier les produits, en prenant en considération l'apparence. L'athleisure fait référence à des vêtements de sport fonctionnels conçus pour être portés dans les activités sportives et quotidiennes. Des exemples d'Athleisure sont les pantalons de gym, les leggings, les t-shirts élastiques, les shorts et les soutiens-gorge de sport (Jogbras). L'idée derrière Athleisure est de proposer différents produits qui allient fonctionnalité et créativité tout en suivant les tendances de la mode.

7. Différenciation par la technologie

L'évolution de la technologie crée de nouvelles opportunités de différenciation des produits. Les exemples de produits où la technologie est présente sont, le tricotage sans couture, la numérisation des dimensions du corps, la simulation visuelle des vêtements et les vêtements intelligents.

Le tricotage sans couture affecte toutes les dimensions du design. Il permet de créer une forme continue et plus uniforme qui s'adapte mieux au corps et donne une meilleure apparence générale. Il élimine les défauts de construction et les défaillances dans l'utilisation du vêtement dues à des

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

coutures défectueuses ou faibles, améliorant ainsi la qualité. Enfin, il peut augmenter les performances des sous-vêtements fonctionnels et des vêtements de sport, notamment en réduisant l'abrasion cutanée due à l'absence de coutures. Un exemple de vêtements de sport sans couture est présente dans la figure 12 [16].

Figure 12. Soutien-gorge de sport sans couture de la société Liv Cycling [16]

La numérisation des dimensions corporelles, associée à un système de chaîne d'approvisionnement avancé, permet la production industrielle de vêtements adaptés à chaque consommateur. Un système de chaîne d'approvisionnement efficace est nécessaire pour s'assurer que le bon produit arrive au consommateur au moment promis.

La simulation visuelle des vêtements, bien qu'elle n'affecte pas le vêtement, peut être proposée par une marque en tant qu'un service offert à ses clients, créant ainsi un avantage concurrentiel.

L'évolution attendue des textiles intelligents et techniques dans les années à venir créera de nouvelles possibilités dans la différenciation des vêtements. L'objectif principal des vêtements intelligents et techniques est la réalisation de nouvelles fonctionnalités (figure 13). Cependant, cette évolution peut également affecter l'apparence des futurs vêtements (figure 14).

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Figure 13. Veste de snowboard Pour iPod Burton Shield [17].

Figure 14. Robe LED couture [18].

Références

[1] Design Council. (2019, Sep. 10). *What is the framework for innovation? Design Council's evolved Double Diamond.* www.designcouncil.org.uk. [en ligne]. Disponible sur : https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/what-framework-innovation-design-councils-evolved-double-diamond [Consulté le : Mai 10, 2021].

[2] Empathize IT. (2019, Jul. 02). *Design Thinking models. The Double Diamond*. www.empathizeit.com [en ligne]. Disponible sur : https://empathizeit.com/design-thinking-models-the-double-diamond/ [Consulté le : Mai 10, 2021].

[3] E. Giacosa, *Innovation in Luxury Fashion Family Business*. London Palgrave Macmillan UK, 2014.

[4] Citrine-salon.xyz. (2021). *Burberry to take control of childrenswear*. www.citrine-salon.xyz. [en ligne] Disponible sur : https://www.citrine-salon.xyz/ProductDetail.aspx?iid=293738352&pr=89.99 [Consulté le: Mai 10, 2021].

[5] Marks & Spencer. (2021). *Cotton Spider-Man™ Sequin T-Shirt (2-7 Yrs)*. www.marksandspencer.com. [en ligne] Disponible sur : https://www.marksandspencer.com/cotton-spider-man-sequin-t-shirt-2-7-yrs-/p/clp60464752 [Consulté le : Mai 10, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[6] PoinsettiaStyle.co.uk. (2021). *Sienna Tea Rose Pink Camisole-Fantasie*. [en ligne]. Disponible sur : https://www.poinsettiastyle.co.uk/collections/camisole/products/fantasie-lingerie-sienna-camisole-tea-rose-pink-fl2678tee. [Consulté le: Mai.10, 2021].

[7] PoinsettiaStyle.co.uk. (2021). *Bronte Black Chemise-Fantasie.* [en ligne]. Disponible sur : https://www.poinsettiastyle.co.uk/collections/chemise/products/fantasie-lingerie-bronte-chemise-black-fl2068blk. [Consulté le: Mai.10, 2021].

[8] Shanghai Chiguang Industry Co.,Ltd. | Leading Socks Manufacturer and Exporter in China. (2021). *Socks construction-Socks base knowledge*. [en ligne]. Disponible sur : http://www.cn-sock.com/support/socks-construction/ [Consulté le: Mai 10, 2021].

[9] Innovationintextiles.com. (2018, Dec. 14). *Ten years of ISKO Jeggings*. [en ligne]. Disponible sur : https://www.innovationintextiles.com/transport-aerospace/ten-years-of-isko-jeggings/. [Consulté le : Mai 12, 2021].

[10] Yours Clothing. (2021). *Blue Vintage Wash JENNY Jeggings, Plus size 16 to 36"*. [en ligne]. Disponible sur: https://www.yoursclothing.co.uk/blue-washed-vintage-jeggings-p. [Consulté le : Mai 12, 2021].

[11] C. Salfino (2021). *The Naked Truth About the Link Between Underwear and Health*. Sourcing Journal. [en ligne]. Disponible sur : https://sourcingjournal.com/topics/lifestyle-monitor/underwear-health-113797/. [Consulté le: Mai 12, 2021].

[12] BMW-motorrad.ca. (2021). *Summer Functional Underwear.* [en ligne]. Disponible sur : https://www.bmw-motorrad.ca/en/wear/ride/summer-functional-underwear.html. [Consulté le: Mai 14, 2021].

[13] F. Sportswear and D. Sports. (2021). *FREEGUN Backside Kids Thermal functional underwear 2-piece Set*. SportSpar.com. [en ligne]. Disponible sur : https://www.sportspar.com/freegun-backside-kids-thermal-functional-underwear-2-piece-set. [Consulté le : Mai 14, 2021].

[14] Injinji.com. (2021). *Run Lightweight No-Show*. Injinji.com. [en ligne]. Disponible sur : https://www.injinji.com/run-lightweight-no-show.html. [Consulté le : Mai 14, 2021].

[15] J. P. Otto. (2016, Nov.). *Safe Socks: What Your Mother Never Told You.* Opedge.com. [en ligne]. Disponible sur : https://opedge.com/Articles/ViewArticle/2016-11_03. [Consulté le : Mai 14, 2021].

[16] Liv-cycling.com. (2021). *Liv Beyond Seamless Sports Bra | Liv Cycling United States*, www.Liv-cycling.com, [en ligne]. Disponible sur : https://www.liv-cycling.com/us/liv-beyond-seamless-sports-bra. [Consulté le : Mai 14, 2021].

[17] Worthpoint. (2021). *Burton Shield iPod Snowboard Jacket True Black Small.* [en ligne]. Disponible sur : https://www.worthpoint.com/worthopedia/burton-shield-ipod-snowboard-jacket-238718832. [Consulté le : Mai 14, 2021].

[18] Material District. (2021). *Couture LED Dress Lights up the Met Gala 3.* [en ligne]. Disponible sur : https://materialdistrict.com/article/fiber-optic-woven-dress-lights-met-gala/couture-led-dress-lights-up-the-met-gala-3/. [Consulté le : Mai 14, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1: Quelles sont les deux dimensions les plus critiques de la différenciation sur lesquelles une marque de haute couture qui produit de la lingerie devrait se concentrer ?

Veuillez choisir les deux bonnes réponses parmi les quatre choix ci-dessous.

a) Apparence (look plus attrayant)
b) Qualité (matériaux plus chers et meilleure construction des vêtements)
c) Fonctionnalité (meilleures performances fonctionnelles)
d) Technologie (p. ex., fabrication sans soudure ou sur mesure en fonction des dimensions réelles du corps)

Question 2: Quelles sont les deux dimensions les plus critiques de la différenciation sur lesquelles une marque qui produit des bas de compression devrait se concentrer ?

Veuillez choisir les deux bonnes réponses parmi les quatre choix ci-dessous.

a) Apparence (look plus attrayant)
b) Qualité (matériaux plus chers et meilleure construction des vêtements)
c) Fonctionnalité (meilleures performances fonctionnelles)
d) Technologie (p. ex., fabrication sans soudure ou sur mesure en fonction des dimensions réelles du corps)

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Unité 5 Textiles techniques et fonctionnels

Traduit par :
Narjes RJIBA, Ikram ZBALI, Imen MAATOUK, Ibtissem MUSTAPHA,
Fadhel JAAFAR
ISMM

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Contenu

Contenu 296

Cours 5.1 Aperçu des applications techniques des matériaux textiles 299

1. Introduction 299

1.1. Matériaux utilisés dans la production de textiles techniques et fonctionnels 300

2. Procédés de production de textiles techniques et fonctionnels 300

2.1. Tissage et tricotage 300

2.2. 3D Tissage et tricot 301

2.3. Non-tissé 301

2.4. Tressage 301

2.5. Finition et revêtement des textiles techniques et fonctionnels 301

3. Classification des textiles techniques et fonctionnels 302

3.1. Textiles de transport 302

3.2. Textiles médicaux et d'hygiène 303

3.3. Produits et composants industriels 303

4. Applications des textiles techniques et fonctionnels 305

4.1. Les avantages des textiles techniques et fonctionnels 307

Références 307

Questions pour l'évaluation du cours 308

Cours 5.2 Le progrès des matériaux textiles composites 309

1. Aspects généraux des composites textiles renforcés 309

1.1. Renfort textile pour composites 310

1.2. Matrices pour composites textiles renforcés 312

1.3. Fraction volumique des fibres 313

2. Renforts textiles 3D 314

3. Procédés de fabrication avancés 315

3.1. Renforts hybrides 316

3.2. Placement automatisé des fibres/rubans 317

3.3. Technologies additives 318

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

4. Composites intelligents 319
5. Composites durables 319
Références 320
Questions pour l'évaluation du cours 322
Cours 5.3 Textiles avancés et intelligents 323
1. Avant-propos 323
2. Introduction 323
2.1. Classification des textiles intelligents 324
2.1.1. Textiles intelligents passifs 325
2.1.2. Textiles intelligents actifs 325
2.1.3. Textiles très intelligents 325
2.2. Niveau d'intégration des textiles intelligents 326
2. Principaux types de textiles intelligents 326
2.1. Textiles chromo-actifs 327
2.1.1. Textiles thermochromiques 327
2.1.2. Textiles photochromiques 331
2.2. Textiles électroactifs 334
2.2.1. Textiles piézoélectriques 334
2.2.2. Textiles triboélectriques 336
2.3. Textiles à mémoire de forme 338
2.3.1. Alliages à mémoire de forme (AMF) 338
2.3.2. Polymères à mémoire de forme (PMF) 341
2.4. E-textiles 343
2.4.1. Conducteurs textiles 345
3. Applications des textiles intelligents 346
4. Défis et opportunités pour les textiles avancés et intelligents 349
Références 350
Questions pour l'évaluation du cours 354
Cours 5.4 Textiles de protection avancés (protection biologique, santé et sécurité) 355
1. Textiles pour équipements de protection individuelle 355

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2. Textiles pour la protection biologique 356
2.1. Protection respiratoire 357
2.1.1. Masques faciaux médicaux 357
2.1.2. Les appareils respiratoires 358
2.2 Protection du corps 359
2.2.1. Blouses médicales 359
2.2.2. Combinaisons bio/chimiques (combinaisons) 360
3. Matières textiles utilisées pour les EPI pour les dangers biologiques 362
4. Fonctionnalisation des textiles pour la protection biologique 364
Références 366
Questions pour l'évaluation du cours 369

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 5.1 Aperçu des applications techniques des matériaux textiles

Anastasios Tzerachoglou, Eleni Gyalinou
Université de l'Attique occidentale (UNIWA)

1. Introduction

Les textiles techniques et fonctionnels représentent un connaissance globale axée sur une recherche orientée vers le secteur de l'industrie textile. Dans les textiles techniques et fonctionnels, l'accent est mis sur les aspects techniques et les applications des matériaux textiles. Il s'agit d'un secteur multidisciplinaire au sein du secteur de l'industrie textile, où les produits textiles sont conçus spécifiquement en fonction des besoins de l'utilisation technique finale.

Le secteur connaît une croissance constante dans le monde entier en raison de ses performances techniques et de ses propriétés fonctionnelles dans l'industrie textile mondiale. Les textiles techniques sont des types spéciaux de matériaux ou de produits conçus pour des applications spécifiques, tout en offrant des caractéristiques uniques et exclusives. Ce sont des textiles qui ont été développés pour répondre aux exigences de performances élevées d'une utilisation finale particulière qui est différente des vêtements et des meubles conventionnels. Ils sont spécialement fabriqués pour incorporer des propriétés améliorées du tissu.

On estime que les textiles techniques représentent environ 21 % de tous les textiles. Les principaux marchés des textiles techniques sont les tissus industriels, tels que les transports et les voitures (23%), les textiles médicaux (10%), les toiles, les tentes, etc. (43%), les sports et loisirs (12%), les géotextiles (10%); et les textiles de protection (2 %).

Figure 1. Airbags dans la voiture [1]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

1.1. Matériaux utilisés dans la production de textiles techniques et fonctionnels

Un large éventail de matières premières est utilisé afin de produire des textiles techniques et fonctionnels afin qu'ils acquièrent des propriétés avancées et présentent des performances multifonctionnelles. Ces matériaux sont naturels, minéraux, métalliques ou synthétiques spécialement développés, régénérés et cultivés pour produire des fibres. Quelques exemples sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Matériaux fibreux pour textiles techniques

Naturel	Minéral	Métal	Synthétique	Régénéré
Laine Coton Chanvre Sisal Bambou Jute Fruit Protéine	Verre Céramique Carbone	Cuivre Argent Or Acier Aluminium	Polyamide Polyester Aramide Acrylique Polyoléfine	Viscose Rayon Acétate

2. Procédés de production de textiles techniques et fonctionnels

2.1. Tissage et tricotage

Les étoffes tissés et tricotés dans les textiles techniques sont couramment utilisés pour les applications qui nécessitent une résistance et une durabilité élevées. Il y a des étoffes techniques lourdes qui sont tissés, à titre d'exemple nous citons les airbags, les convoyeurs, le voile, le tissu pare-balles, le tissu de boulonnage, le gazon tissé artificiel, les sacs en ciment, le tissu de filtration ainsi que le tissu technique léger utilisé dans les vêtements médicaux, les vêtements de sport. Les tissus de structure tricotés en chaîne (à mailles jetées) et tricotés en trame (à mailles cueillies) trouvent des applications dans les textiles techniques, généralement dans les vêtements de sport. Les tissus multiaxiaux consolidés par couture sont utilisés dans les avions, l'automobile, la construction de navires et de bateaux, les équipements sportifs et les pales de rotor pour la production d'énergie éolienne. Les bandages élastiques et non élastiques ainsi que les bandages abdominaux sont également constitués d'une structure tricotée.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

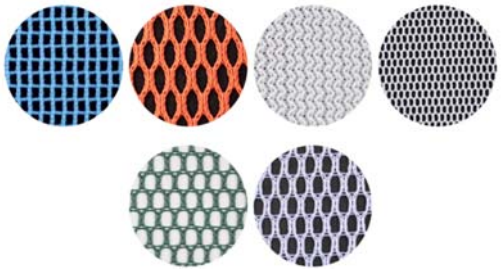


Figure 2. Tissage et tricotage de textiles techniques et fonctionnels [5]

2.2. 3D Tissage et tricot

Les tissus tissés 3D sont des alternatives robustes et légères aux métaux Ils sont utilisés dans un large éventail d'applications. Les tissus tissés 3D offrent une résistance et une rigidité supplémentaires, ce qui les rend adaptés à une utilisation dans les secteurs des transports, de l'industrie lourde, de la balistique, de l'aérospatiale et de la marine.

2.3. Non-tissé

Les étoffes non tissées sont une application polyvalente de recherche de matériaux dans une large gamme de produits industriels, de santé et de consommation qui varie des articles jetables à usage unique tels que les sachets de thé et les lingettes humides aux produits hautement durables tels que le cuir synthétique, les composants automobiles et les membranes de toiture. L'un des principaux avantages des processus de production de non-tissés est que les coûts de main-d'œuvre de la fabrication sont faibles par rapport au traitement traditionnel des textiles, puisqu'il il existe un degré élevé d'automatisation des processus.

2.4. Tressage

Le tressage est une forme simple de fabrication d'un tissu étroit. Cela se fait par un entrelacement de fils dans la direction qui convient à l'objectif du fabricant. Le tressage peut être bidimensionnel ou tridimensionnel. Ces tissus fonctionnent comme des textiles de tension. Les fils tressés sont utilisés comme cordage, sangles, cerclages, ceintures, rubans, filets. Cette structure trouve également une utilisation pour des applications médicales telles que les sutures, les endoprothèses, les ligaments, les tendons, le fil dentaire et les échafaudages.

2.5. Finition et revêtement des textiles techniques et fonctionnels

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les finissages et les enrobages des textiles peuvent modifier l'apparence, la sensation, les propriétés et les performances afin de satisfaire les exigences fonctionnelles. Les finissages qui peuvent être appliquées aux textiles techniques sont indiquées dans le tableau ci-dessous:

Tableau 2. Types de procédés de finition

Apprêts mécanique	Apprêts chimique
Gaufrage	Agents antistatiques
Brossage	Retardateurs de flamme
Sanforisage	Hydrofuges et hydrophobes
Décatissage	Agents de protection photo
Flambage	Adoucissage
Grattage	Traitement antimicrobien et antifongique
Cadrage	Traitement au plasma
thermofixage	La nanotechnologie

3. Classification des textiles techniques et fonctionnels

Les textiles techniques sont principalement classés dans les treize catégories suivantes :

3.1. Textiles de transport

Les produits vont de la moquette et des sièges à travers le renforcement des pneus, des ceintures et des tuyaux, tels que les ceintures de sécurité, les tapis, les housses de siège et les coussins gonflables, aux renforts composites pour les carrosseries automobiles, les ailes et les composants de moteurs, les carrosseries d'avions civils et militaires et de nombreuses autres utilisations.

Figure 3. Siège et ceinture de sécurité de l'aéronef [2]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3.2. Textiles médicaux et d'hygiène

Les textiles médicaux et d'hygiène comprennent des produits tels que des rideaux et des blouses, des enveloppements stériles, des pansements, des vêtements de protection, de la literie, des masques de protection, etc.

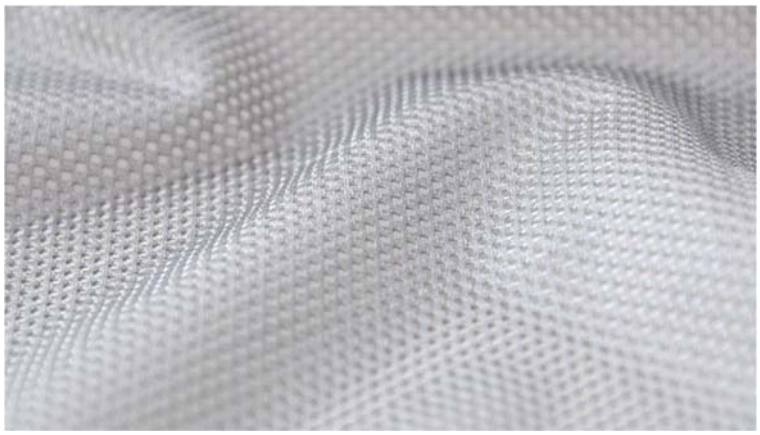


Figure 4. Textile médical antimicrobien enduit d'argent [6]

3.3. Produits et composants industriels

Les produits et composants industriels comprennent les produits pour l'ingénierie mécanique et pour les industries chimiques et électriques tels que les filtres et les supports de filtration, les bandes transporteuses et les bandes abrasives ainsi que les renforts pour les cartes de circuits imprimés, les joints et les joints d'étanchéité, les composants électriques, les absorbants de bruit, et les cordages.

1. **Agriculture, horticulture et pêche**

Les textiles techniques sont largement utilisés lors de la production d'aliments. Ils sont également utilisés dans l'industrie de la pêche comme les filets et les cordes. Les textiles techniques sont utilisés dans l'agriculture et l'horticulture pour une variété d'applications de couverture, de conditionnement de protection et de l'agriculture.

2. **Textiles de maison**

Les textiles techniques à la maison sont utilisés dans la fabrication de meubles, de tissus d'ameublement, de revêtements de sol, de tapis, de supports de tapis, de filtration de l'air et de l'eau, de rideaux, d'auvents, d'ombres et d'autres articles.

3. **Composants vestimentaires**

Les composants vestimentaires comprennent des innovations dans la fabrication de chaussures et de vêtements. Les vêtements pour salle blanche, entoilage, les applications de maroquinerie, les

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

wearables, les électrodes et capteurs textiles, sont des exemples des composantes vestimentaires etc.

4. Emballage et conditionnement

Textiles techniques se trouvent dans l'emballage, le conditionnement et les emballages en vrac pour le transport, les espaceurs d'emballage, les sacs de perfusion, les feuilles d'emballage et les ceintures etc....

5. Construction – Bâtiment et toiture

Produits textiles pour la construction de membranes, (peuvent être utilisés dans) les structures légères et solides, les travaux de terrassement, l'ingénierie hydraulique et la construction de routes. Ces produits comprennent la toiture et la sous-couche de tuiles, l'isolation thermique et acoustique, l'enveloppement de tuyaux, les renforts, etc.

6. Géotextiles en génie civil

Les textiles techniques comprennent les produits de construction routière, de génie civil et de construction de barrages et de sites de déchets, tels que les produits de prévention de l'érosion, de revêtement d'asphalte, de drainage, de remise en état des terres offshore.

7. Sport et loisirs

Innovations textiles dans le monde du sport et des loisirs appliquées dans les vêtements de sport, les équipements sportifs, les équipements de camping, le trekking, l'alpinisme, etc.

Figure 5. Textile technique pour le sport [6]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

8. **Textiles de protection et de sécurité**

Ce sont des textiles techniques dans la protection des personnes et des biens. Les produits se réfèrent à la protection chimique et biologique, aux vêtements ignifuges, aux vêtements résistants aux coupures, au contrôle des déchets dangereux, etc.

9. **Textiles de protection écologique**

Les Textiles de protection écologique sont des produits pour la protection de l'environnement, l'élimination des déchets et le recyclage. Les applications comprennent la filtration des eaux usées, la collecte de la poussière, les produits textiles absorbant l'huile, les produits textiles d'élimination des gaz et des odeurs.

10. **Textiles aérospatiaux**

Ces textiles servent pour la construction aérospatiale et les voyages spatiaux. Les produits comprennent des boucliers thermiques, des filtres d'admission et d'échappement du moteur, des coussinets de silencieux, des housses, des tapis, des housses de siège, des airbags

Figure 6. Costume de combinaison spatiale [2]

4. Applications des textiles techniques et fonctionnels

Les textiles techniques sont appliqués dans différents domaines tel que par exemple l'aérospatiale, la construction, l'ameublement, l'alimentation, le médical, l'automobile, la défense, les sports, l'habillement, le génie civil, les mines, l'électricité, l'agriculture, etc.

Quelques exemples :

Le Concentrateur solaire portable, un polymère appliqué sur des fibres textiles fonctionne comme un capteur solaire et donc une source d'énergie portable

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

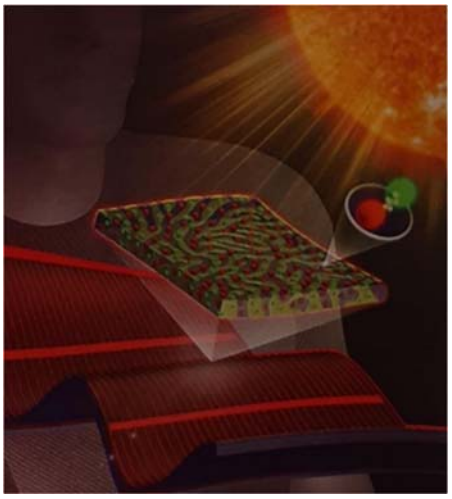


Figure 7. Concentrateur solaire luminescent (LSC) [7]

Géotextile tissé en polymère à haute résistance.

Géotextile tissé en polymère à haute résistance est un matériau géosynthétique perméable fabriqué à partir de fils de polyester à haut module par tissage et technologie de tricotage en chaîne. La fonction du géotextile spécifique est le renforcement, la filtration et la séparation.

Géotextile tissé en polymère à haute résistance présente les caractéristiques suivantes : Haute résistance à la traction, Faible déformation, Haute perméabilité à l'eau, Haute résistance aux effets chimiques, biologiques et thermiques, Installation simple..

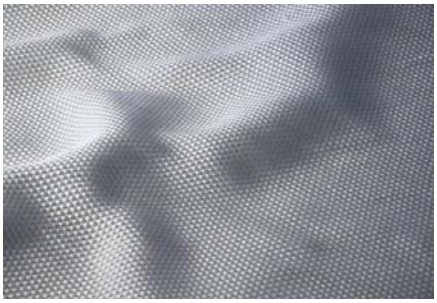


Figure 8. Géotextile tissé polymère [4]

Les applications du géotextile comprennent : la construction de structures en terre renforcée, le renforcement du sous-sol de terre sur des sols mous, le renforcement couche par couche des remblais de haute chaussée, la séparation des sous-sols de la chaussée.

Il offre plusieurs avantages tels que l'amélioration de la stabilité de la base routière, la redistribution uniforme de la charge et la séparation et des couches, l'augmentation de la capacité de charge de la base, l'amélioration de la stabilité du remblai, l'économie de matériaux inertes.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

4.1. Les avantages des textiles techniques et fonctionnels

Les avantages offerts par les textiles techniques et fonctionnels peuvent être résumés ci-dessous :

- Ils ont un poids plus léger tout en étant durables
- Ils rendent le produit multifonctionnel
- La production de textiles techniques et fonctionnels peut être flexible, continue et polyvalente
- Ils sont rentables et facile à utiliser
- Leur production et leur utilisation les rendent écologiquement durables

Références

[1] Applications. *Technical Textiles*. Bonas Shedding Systems Vandewiele. [En ligne]. Disponible sur : https://www.bonas.be/en/applications/technical-textiles [Consulté : 10 avril 2021]

[2] ACME Mills Blog. *What is Aerospace Textile. Application of Aerospace Textiles*. ACME Mills [En ligne]. Disponible sur : https://acmemills.com/what-is-aerospace-textile-application-of-aerospace-textiles/ [Consulté : 7 avril 2021]

[3] Techtextil [En ligne]. Disponible : https://www.techtextil-blog.com/en/ [Consulté le 4 avril 2021]

[4] Production. *HIGH-TENSILE GEOTEXTILE.* Miakom.. Miakom. [En ligne]. Disponible : https://miakom.com/ [Consulté : 22 avril 2021]

[5] Innovation – Design – Performance. *Technical Textiles: Industrial Applications & Types of Fabric*. Jason Mills. [En ligne]. Disponible sur : https://www.jasonmills.com/technical-textiles/ [Consulté le 4 avril 2021]

[6] Schoeller. [En ligne]. Disponible sur : https://www.schoeller-textiles.com/en/ [Consulté le 24 avril 2021]

[7] Technology News (2020, 29 octobre). *Wearable solar concentrators*. EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology. [En ligne]. Disponible sur : https://www.textiletechnology.net/technology/news/Empa-Wearable-solar-concentrators-22350 [Consulté : 22 avril 2021]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Les textiles techniques et fonctionnels sont des textiles utilisés pour :

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Applications techniques spécifiques
b) Vêtements formels et mode
c) Literie et mobilier

Question 2 : Les avantages des textiles techniques et fonctionnels sont :

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Tous les éléments mentionnés ci-dessous
b) Fonctionnalité, durabilité, Facilité d'utilisation
c) Production continue, rentabilité, durabilité environnementale

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 5.2 Le progrès des matériaux textiles composites

Savin Dorin Ionesi
TUIASI

1. Aspects généraux des composites textiles renforcés

Selon Mallick [*1*], un composite est un assemblage de deux ou plusieurs matériaux structurellement et chimiquement différents, avec une interface entre eux. Les matériaux constitutifs conservent leur identité dans le matériau composite (au moins au niveau macroscopique), mais leur combinaison donne au système des propriétés et des caractéristiques différentes qu'un constituant unique n'offre pas.

Le premier matériau est appelé matrice et il est défini comme étant la phase continue, généralement organique, enrobe le renfort. Elle le maintien en position et assure la transmission des efforts ainsi que la cohésion du composite final.

L'autre élément est appelé renfort et il est ajouté à la matrice afin d'améliorer ou de modifier ses propriétés. Le renfort représente la phase discontinue, répartie uniformément dans le volume de la matrice. Il donne de la force à l'ensemble, tandis que la matrice assure l'unité composite et transmet les déformations.

Les matériaux textiles (fibres, fils, tissus) sont utilisés comme renfort, tandis que la matrice est généralement une résine polymère ou du béton (dans le bâtiment / génie civil). Bien qu'il existe différents renforts et matrices possibles qui peuvent être combinés pour obtenir différents types de composites avec des caractéristiques sur mesure [*2*], seuls les composites textiles renforcés avec des matrices polymères seront discutés dans ce chapitre.

Les avantages des composites textiles renforcés de (CTR) sont :

- la possibilité de contrôler l'anisotropie, car la structure textile peut être conçue de manière à ce que les fibres soient placées dans des directions préférentielles, en fonction de la contrainte maximale pendant l'utilisation;
- l'utilisation de renforts textiles permet un meilleur rapport poids/résistance par rapport aux matériaux classiques, tels que l'acier;
- ces composites conservent leur intégrité et leur comportement dans des conditions extrêmes – par exemple, ils ne se corrodent pas à l'extérieur, ne varient pas leurs dimensions

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

à cause des variations importantes de température et ne sont pas sensibles aux champs électromagnétiques;

- Les CTR présentent une fatigue améliorée au cours de leur vie.

Les matériaux textiles composites sont utilisés dans de nombreuses applications, Outre dans le domaine de l'automobile et l'industrie aérospatiale, ils sont également présents dans l'industrie chimique, le sport et les loisirs.

1.1. Renfort textile pour composites

Tous les types de textiles peuvent être utilisés pour produire des renforts composites ce qui offre un large éventail de possibilités d'adaptation des propriétés et du comportement des composites. La littérature comporte un grand nombre de classifications qui reflètent la nécessité d'approches multi critérielles. Fukuta et al. [*3*] classent les renforts textiles en fonction de la dimension du matériau (1D, 2D ou 3D) et de la géométrie spécifique.

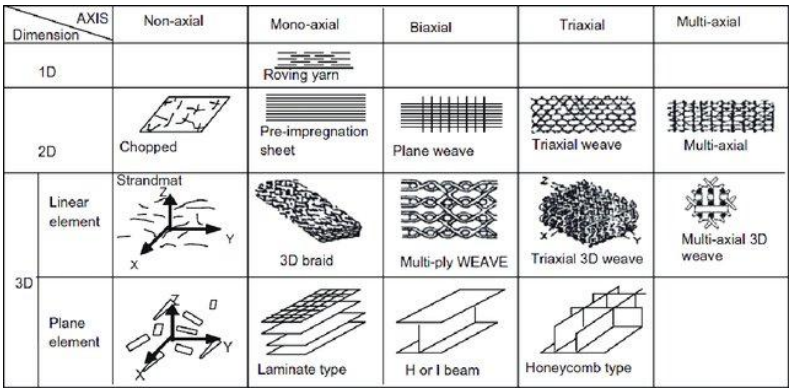


Figure 1. Classification des renforts textiles pour composites [3]

Les textiles 1D (fibres, fibres courtes ou filaments ou fils) sont utilisés pour produire des non-tissés (indépendamment ou en combinaison avec d'autres tissus textiles) ou sont placés directement sur un moule ou sur une surface. Les tissus textiles (2D) sont généralement utilisés pour produire des stratifiés car les applications nécessitent plus de couches pour créer de la résistance. Le tissage, le non-tissé, le tressage et le tricot à mailles cueillies et mailles jetées sont les procédés de fabrication les plus courants, mais la plupart des applications et des études de recherche utilisent des tissus tissés en raison de leur polyvalence et de leur comportement mécanique supérieur. Les tissus tressés (principalement tubulaires) ont de bonnes propriétés mécaniques, mais sont limités dans leurs dimensions, tandis que les tissus tricotés présentent des défis en termes de comportement mécanique, car les fils sont bouclés pour former l'étoffe. L'utilisation des fils insérés dans le tricot trame résout ce problème, mais ils peuvent être insérés principalement dans la direction de production. Les étoffes tricotées en chaîne sont mieux adaptées au positionnement des fibres et

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

donc plus courantes pour le composite renforcé. Les étoffes non tissées sont spécifiques aux applications qui nécessitent une résistance mécanique inférieure. Ils sont liés en utilisant la consolidation chimique (latex) collage, la consolidation mécanique (aiguilletage) et la couture.

Un autre important critère de classification est la direction du renforcement, définie par la nécessité d'assurer une résistance supérieure aux sollicitations sur les directions préférentielles où les tensions sont au maximum (l'idée d'anisotropie contrôlée mentionnée ci-dessus). De ce point de vue, les renforts textiles (2D et 3D) sont les mieux adaptés aux composites à résistance préférentielle, limitant les coûts de production et augmentant le cycle de vie. L'agencement des fils et la densité de renfort dans le matériau composite dépendent du processus textile (tissage, tressage, bonneterie) – ils peuvent être placés en couches ou le long de l'épaisseur de l'étoffe, selon les besoins.

Le textile renforcé nécessite l'utilisation de fibres à haute performance (FHP), principalement du verre, du carbone et du para-aramide (Kevlar, Twaron). Les autres FHP pouvant être utilisées pour le composite renforcé sont le bore, le carbure et les fibres de graphite.

Les fibres de verre sont les HPF les moins chères et utilisées pour les applications où une résistance mécanique plus faible est requise. La plupart des applications des CT utilisent des fibres de verre de type E, mais les fibres de verre de type C sont plus rigides et plus solides. Les fibres de verre de type AC (résistant aux alcalis) sont recommandées pour les composites en béton. Les fibres de verre sont généralement utilisées comme filaments (5-20 µm) - fils et mèches (jusqu'à 12000 tex), mais elles peuvent être broyées pour créer un tapis intégré dans les tissus textiles (tissés, tricotés). Les fibres de carbone (avec précurseur d'acrylique, de brai ou de rayonne) présentent le comportement mécanique le plus élevé et sont principalement utilisées comme mèches pour des applications où un module ou une résistance faible/moyen/élevé/ultra-élevé est requis. Les fibres d'aramide ont une résistance plus élevée et sont plus légères que les fibres de verre, sont plus ductiles que les fibres de carbone et présentent une résistance thermique et chimique élevée. Une comparaison générale entre les principaux FHP est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 1. Comparaison des principales caractéristiques du HPF

	Fibres de carbone	Fibres de verre (E)	Fibres d'aramide
Résistance à la traction (GPa)	2.0-6.0	1.9-3.0	3.5-4.1
Module de Young (GPa)	125-400	4.127	70-130
Allongement à la traction (%)	<3,5	3-4.5	2.5-4.5
Densité (g/cm^3)	1.58	2.66	1.44
Conductivité thermique à 20 °C (Wm^{-1}K^{-1})	0.04	0.8	0.4

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

1.2. Matrices pour composites textiles renforcés

Si les fibres/fils/tissus textiles déterminent les propriétés du composite, la matrice est essentielle pour l'étape de traitement et les paramètres technologiques à régler (pression, température et durée). Il existe deux principaux types de résines à utiliser comme matrice pour les composites : les résines thermoplastiques et les thermodurcissables, chaque type ayant des caractéristiques, un comportement et des applications spécifiques, synthétisé dans le tableau 2.

Tableau 2. Matrices polymériques utilisées pour les composites textiles renforcés

Matrice	Type de résine	Applications
1. Résines thermodurcissables	Époxy	Industrie aérospatiale, aviation, équipements sportifs, automobile
	Polyester et ester vinylique	Automobile, construction navale, industrie chimique, installations électriques, bien de consommation
	Polyuréthane et polyurée	Automobile (composants automobiles)
	Phénols	Industrie aérospatiale et automobile
	Bismaleimide, polyimide, etc.	Industrie aérospatiale, pour des applications caractérisées par des températures très élevées
2. Résines thermoplastiques	Nylon 6, nylon 6,6, polyesters thermoplastiques (PET et PBT), etc.	Composites à fibres courtes obtenues à partir du moulage par injection
	Polyéthercétone (PEEK), sulfure de polyphénylène, imide de polyamide, imide de polyéther, etc.	Composites avec renfort de fibres courtes/filaments, pour des applications à des températures relativement élevées

Les résines thermoplastiques peuvent fondre puis revenir à l'état solide sans modifier de manière significative leurs caractéristiques. La transition liquide-solide est réversible ce qui leur confère un net avantage en termes de recyclage. Les matériaux composites sont faciles à traiter et présentent un bon comportement mécanique, une résistance aux différentes conditions environnementales, y compris le climat. Les résines thermoplastiques sont utilisées en particulier pour le moulage thermoplastique.

Les résines thermodurcissables ne peuvent pas passer de l'état solide au liquide. La transformation est irréversible de sorte qu'une fois le durcissement terminé, elles resteront à l'état solide. Elles nécessitent la présence d'un catalyseur ou d'un agent de durcissement pour durcir. Le processus de durcissement dépend considérablement de la température. Les résines thermodurcissables sont

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

largement répandues et les plus courantes sont les résines d'époxy et polyester. Les résines de polyester thermodurcissables sont obtenues à partir d'alcools tels que le glycol et les acides dibasiques. Les résines orthophtaliques sont les plus utilisées, mais les résines isophtaliques sont utilisées pour les applications nécessitant une résistance à l'eau. Afin de déterminer le processus de durcissement, les résines de polyester ont besoin de catalyseurs, d'accélérateurs et d'additifs (comme les pigments thixotropes pour la couleur, les charges, les substances augmentant la résistance chimique). Le durcissement est contrôlé par la quantité de catalyseur/accélérateur introduite. Les résines époxy sont considérées comme de haute qualité en termes de traitabilité et de comportement du composite (propriétés mécaniques, isolation électrique élevée, bonne résistance aux produits chimiques, stables dans les différentes conditions environnementales). Ces résines sont utilisées pour des applications de performance, en particulier dans l'industrie aéronautique et automobile. Les résines époxy ont une viscosité plus faible qui facilite le processus de moulage et créent une interface solide avec le matériau textile. Le durcissement prend peu de temps, à des températures allant de 15 ° C à 150 ° C et ne nécessite qu'un agent de durcissement, pas de catalyseur qui contrôle le processus.

1.3. Fraction volumique des fibres

La **fraction volumique des fibres** (FVF) représente le pourcentage de volume des fibres dans le volume total d'un matériau composite renforcé de fibres. C'est un indicateur puissant de la performance des matériaux composites, montrant l'influence directe du renforcement. Le FVF est calculé sur la base de la densité de la fibre et de la matrice et de la masse de fibres dans le volume unitaire, en utilisant la relation suivante :

$$FVF = \frac{\frac{W_f}{\rho_f}}{\frac{W_f}{\rho_f + \frac{(1-W_f)}{\rho_a}}} \qquad (1)$$

Où : W_f = masse de fibres dans le composite (g); ρ_f = densité de fibres (g/cm^3); ρ_a = densité de résine (g/cm$^{3)}$

Tableau 3. Densité spécifique des fibres et des résines - exemples

Fibres de renfort	Densité (g/cm^3)	Matrice (résine)	Densité (g/cm^3)
E fibres de verre	2.56	Époxy	1.1–1.4
Fibres de carbone	1.75–1.95	PES	1.2–1.5
Aramide (Kevlar 49)	1.45	PA (Nylon 6.6)	1.14

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La valeur optimale de FVF d'un composite renforcé de textile doit varier entre 50% et 70%. Des valeurs FVF plus faibles affectent le comportement mécanique, tandis que pour un FVF supérieur à 70%, la matrice ne peut pas pénétrer complètement dans le renfort textile, affectant à nouveau les performances du composite. La structure du renfort exerce l'influence la plus importante sur le FVF et ceci par la géométrie spécifique de la fibre / fil et la densité / porosité du matériau.

2. Renforts textiles 3D

Les matériaux textiles tridimensionnels (3D) sont des matériaux fabriqués à partir des assemblages de fibres continues insérées, ayant une orientation multiaxiale dans le plan et hors plan. En d'autres termes, la structure de l'étoffe est construite le long des trois axes. Les avantages des textiles 3D pour le composite renforcé se réfèrent à:

- La complexité accrue des formes qui peuvent être obtenues sans aucun liage, éliminant ainsi les opérations de coupe et d'assemblage et les déchets qui en résultent.
- Un strict contrôle du comportement du matériau sur les 3 axes grâce à l'architecture de l'étoffe et aux caractéristiques du fil. Cela signifie que la résistance du matériau est contrôlée dans toutes les directions depuis le début de sa phase de conception.
- dans le cas des composites, il n'y a pas de risques de délaminage (lorsque des couches de matériaux 2D sont utilisées dans le renforcement composite, le délaminage est un problème important).
- la possibilité de développer des structures hybrides en combinant des fibres textiles avec d'autres matériaux aux propriétés spécifiques (plastiques, céramiques, etc.) pouvant jouer le rôle de matrice.

Les préformes textiles 3D peuvent être classées selon la géométrie intrinsèque et la section transversale comme : solide, creux, coque et nodale [4]. Une comparaison générale des possibilités structurelles/technologiques pour les 4 principaux types des étoffes est présentée dans le tableau 4.

Tableau 4. Comparaison des possibilités de renforcement 3D

Matériau	Solide	Creux	Coque	Nodal
Tissé	Multicouche Interlock orthogonal Angle Interlock	Multicouche	Monocouche Multicouche	Multicouche Interlock orthogonal Angle Interlock
Tressé	Rotatif 3D (solide, hexagonal) Cartésien (2/4/6 étapes)	Tressage tubulaire/triaxial 2D Tressage circulaire 2D multicouche	Surtressage	Rotatif 3D

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Tricoté	Multiaxial	spacer (tricot trame/chaîne)	Tricot trame en forme de 3D	Tricot tubulaire Trame / chaîne
Non-tissé	Multicouche (aiguilletage)		Dépôt de fibres cylindriques/coniques; Dépôt de fibres sur un moule (extrusion soufflage / pulvérisation de fibres / aérodynamique voie sèche); Thermobonding	

3. Procédés de fabrication avancés

Il existe une large gamme de procédés de fabrication pour les CTR qui nécessite une classification selon plusieurs critères, parmi lesquels nous pouvons citer :

- La manière dont l'interface renfort/ matrice entre en contact - processus direct (le renfort et la matrice entrent en contact direct uniquement pendant la fabrication de composites) ou indirects (la matrice est incluse dans le renfort - matériaux hybrides)
- Type de renfort – fibres courtes ou continues (filaments)
- Type de résine – thermodurcissable ou thermoplastique
- Type de moule – moule ouvert (un seul moule) ou moule fermé

Les procédés de fabrication les plus courants sont le moulage par compression (thermoformage), le moulage par transfert de résine (RTM), la pultrusion, le moulage par réaction renforcée, l'enroulement de filaments, le vacuum bag/ autoclave, le moulage par contact. La figure 2 présente une comparaison de certains procédés de production en tenant compte de quelques phases (aspects) du processus de fabrication [5].

Le choix du processus de production dépend du type d'application, du niveau de performance et des dimensions. Certaines évolutions des procédés de fabrication des composites sont discutées ci-dessous.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

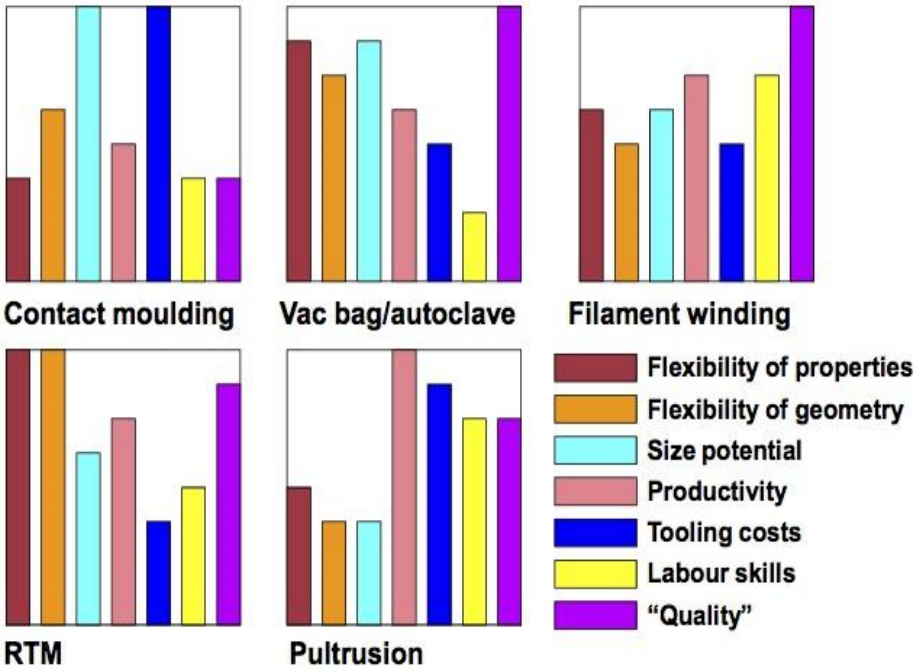


Figure 2. Comparaison des procédés de fabrication les plus utilisés de composites [5]

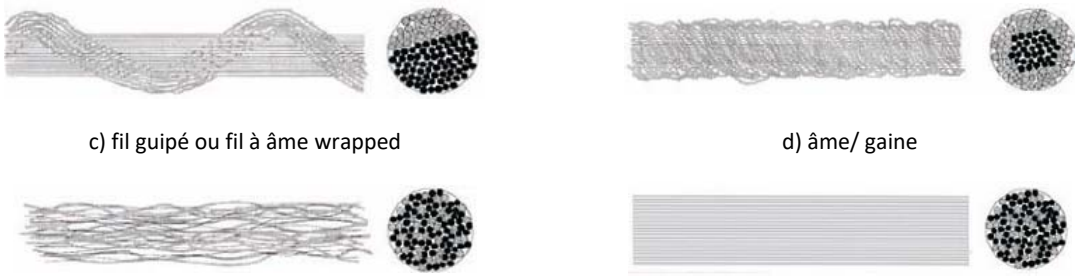
3.1. Renforts hybrides

Les renforts hybrides se caractérisent par la présence de fibres de renforcement haute performance (verre, carbone, aramide) et d'autres types de fibres. Les matériaux hybrides ont deux objectifs :

- réduire la consommation des fibres à haute performances HPF en utilisant des fibres naturelles comme le lin, tout en maintenant le niveau de performance demandé (à discuter au point 5.2.5)
- éliminer l'introduction de matrice dans le renfort textile pendant la phase de fabrication du composite, réduisant ainsi les coûts et le temps de production. Cela se fait en introduisant dans le matériau de renforcement des fibres qui deviennent plus tard la matrice, sous l'effet de température (polymères thermoplastiques comme le polypropylène ou le PEEK). Ces matériaux hybrides sont appelés préimprégnés. La figure 3 illustre certains types de fils hybrides produits pour les préimprégnés composites, chacun avec sa distribution spécifique des fibres matricielles dans la section transversale du fil. Les préimprégnés hybrides sont spécifiques aux procédés de fabrication indirecte tels que le thermoformage.

a) Doublé b) Tordu

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.



c) fil guipé ou fil à âme wrapped

d) âme/ gaine

e) Texturé mélangé

f) Mélangé

Figure 3. Fils hybrides utilisés pour les préimprégnés composites (le noir représente les filaments de la matrice)

3.2. Placement automatisé des fibres/rubans

Ce procédé indirect développé principalement pour l'industrie aérospatiale permet le dépôt en couches successives de fibres/mèches hybrides (placement automatisé des fibres AFP) ou de rubans (superposition automatisée de bandes ATL) contrôlées par un bras robotique. Les mèches/rubans sont chauffés avant leur placement pour former le composite in situ. La différence entre le placement de la fibre et du ruban est donnée par la largeur des rubans – les rubans varient entre 75 et 300 mm, tandis que la largeur des mèches est jusqu'à 30 mm et le fait que plusieurs têtes sont utilisées pour l'AFL. Les principaux avantages de l'AFP/ATL sont donnés par le dépôt précis le long de directions préférentielles qui peuvent être différentes d'une couche à l'autre, la fabrication de composites in situ et les systèmes de CAO. AFP est utilisé pour des géométries plus complexes. La figure 4 présente un exemple d'équipement AFP (Trelleborg) produisant un panneau obtenu en plaçant des mèches hybrides graphite/époxy [*6*]. Récemment, des rubans de fibres sèches adaptés au dépôt automatisé par des machines AFP conventionnelles ont été développés en tant que processus direct, où la résine est introduite à un stade ultérieur, suite au processus de dépôt de matériau.

Un autre procédé appelé Tailored Fibre Placement (TFP) où les fibres (mèches) seront placées sur un support textile en utilisant des techniques de broderie. Le procédé est développé par le Leibniz-Institut fur Polymerforschung Dresden [*7*]. Le matériau textile utilisé comme support peut être constitué de fils hybrides, de sorte qu'il inclut également la matrice. Le guide alimentant le trajet (Figure 4) est fixe et la table avec le matériau textile sera déplacée selon la trajectoire du chemin de dépôt.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

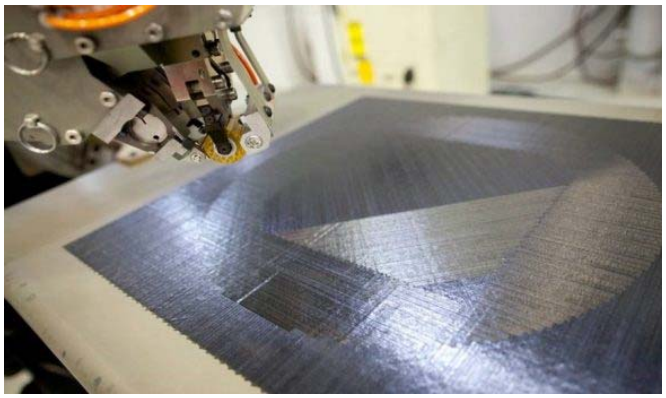


Figure 4. Équipement pour le placement automatique des fibres – production d'un panneau graphite/époxy [6]

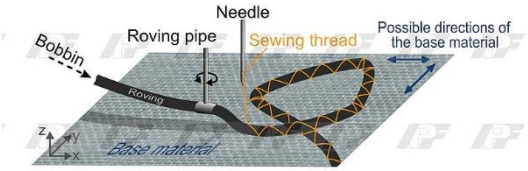


Figure 5. Principe de positionnement de la mèche par la technique de broderie [7]

3.3. Technologies additives

Les technologies additives prennent de plus en plus d'importance dans la production de textiles en général et de composites en particulier. Dans ces procédés de fabrication, les matériaux thermoplastiques (ABS ou nylon) sont déposés couche par couche pour créer une géométrie définie dès l'étape de la conception. Les technologies courantes de fabrication additive (AMT) comprennent : l'extrusion de matière sous forme de filament en polymère thermoplastique (modélisation des dépôts fondus) (FDM), l'écriture directe à l'encre (DIW), le dépôt de matière sous énergie concentrée, la projection de liant, photopolymérisation en cuve, la fusion de lit de poudre (frittage de poudres par faisceau laser) [*8*]. Sitotaw et al. [*8*] présentent une revue exhaustive concernant la fabrication additive dans le domaine textile, y compris les outils de conception, les matériaux thermoplastiques courants utilisés dans les procédés additifs, les types d'impression 3D ainsi que les applications possibles.

Un exemple de procédé de fabrication additive pour les matériaux composites avec des courtes fibres de carbone et de l'acrylonitrile-butadiène-styrène est illustré dans [*9*]. Le processus implique la conception et l'impression 3D des préformes orthogonales 3D à l'aide de fibres courtes de carbone / câbles ABS thermoplastiques, suivies par l'introduction d'une matrice élastomère en silicone. La fabrication additive couche-à-couche permet la fabrication de préformes orthogonales 3D avec certaines topologies qui ne sont pas réalisables par les techniques de préformage conventionnelles. La complexité des préformes est définie au stade de la conception et peut être améliorée en utilisant différents systèmes de coordonnées. Les technologies additives présentent l'avantage de générer des topologies impossibles de créer à l'aide de technologies textiles conventionnelles.

Lyu et Chou [*10*] examinent les possibilités d'utilisation de l'AMT pour produire des composites avec des propriétés de récupération de forme (shape memory). Ils soulignent également certains défis

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

liés à la technique de fabrication intégrée 3D en une seule étape de transition, préservant l'entrelacement des fils lors de l'impression de préformes à l'aide de fibres continues et développant des préformes imprimées avec des performances de mémoire de forme élevées et des matrices élastiques.

4. Composites intelligents

Les composites textiles renforcés sont les mieux adaptés pour exploiter les nombreuses possibilités offertes par les textiles dits intelligents qui peuvent détecter différents stimuli et avoir une réponse dynamique à leur action. Cette capacité d'adaptation aux variations de l'environnement au-delà d'un seuil critique peut être utilisée dans les matériaux composites pour le suivi de leur état, l'amélioration de leur fonctionnalité, leurs fonctions capteur/actionneur et l'évaluation de leur cycle de vie.

Il existe déjà une grande diversité de capteurs textiles pour les stimuli chimiques, biologiques, électriques, mécaniques, physiques, obtenus à l'aide de fibres/fils/matériaux conducteurs (métaux, polymères intrinsèquement conducteurs de carbone) ou de dépôts/enrobage de substances conductrices (métaux, carbone, graphite, ICP) sur fibres/matériaux. Des capteurs textiles sont déjà utilisés pour surveiller le renforcement textile lors de sa fabrication (tissage, tricotage, tressage) et au cours du processus de pénétration de la matrice afin d'éviter les défauts affectant les performances du composite [*11*, *12*].

Les nanofibres peuvent être incorporés pour créer un réseau de renforcement aux propriétés exceptionnelles même à de très faibles concentrations [*13*]. La présence de nanofibres de carbone améliore la résistance mécanique, ainsi que les conductivités électriques et thermiques. Ils peuvent également être utilisés comme capteurs pour identifier les changements environnementaux.

5. Composites durables

Il y a eu beaucoup de discussions ces dernières années sur l'adaptation des composites renforcés textiles aux principes de l'économie circulaire en termes de durabilité et de recyclabilité. Actuellement, la plupart des matériaux composites vont dans les sites d'enfouissement, seule une petite partie sera broyée et utilisée comme charges. Cette transition dans le design des conceptions concernant la fabrication et la fin de vie devient impérative avec la nouvelle législation déjà existante ou à adopter dans un proche avenir. Deux sujets principaux peuvent être soulignés dans cette discussion :

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

1. La conception durable des CTR
    a. Remplacement du HPF (en particulier les fibres de carbone très coûteuses) par des fibres naturelles (comme le lin et le chanvre) tout en maintenant les performances générales du composite [*14*]
    b. Utilisation de déchets industriels textiles comme renfort avec une matrice thermoplastique obtenue à partir de déchets (thermoformage) [*15*]
    c. Utilisation accrue de résines thermoplastiques pour faciliter le recyclage en fin de vie
    d. Développement de préformes textiles 3D pour éliminer les déchets
2. Recyclage des CTR [*16*]
    a. Recyclage mécanique : broyage
    b. Procédés thermiques : pyrolyse, pyrolyse en lit fluidisé, pyrolyse assistée par micro-ondes

Références

[1] P.K., Mallick, Fiber Reinforced Composite Materials, Manufacturing and Design, Taylor & Francis Group, LLC CRC Press, 2008.

[2] L. Ciobanu, «*Development of 3D Knitted Fabrics for Advanced Composite Materials*» dans Advances in Composite Materials –Ecodesign and Analysis, *B. Attaf*, *Intechopen, 2011*

[3] Fukuta et al. 15th Textile Research Symposium, the Textile Machinery Society of Japan, Osaka, pp 36-38, 1984.

[4] P. Schegner et al., « Technology Development for Direct Weaving of Complex 3D Nodal Structures », *Appl Compos Mater*, 26, pp 423-432, 2019.

[5] K. Potter, *An Introduction to Composite Products: Design, Development and Manufacture*. Springer, 5e édition Chapman & Hall, Londres, 1996

[6] Trelleborg. *Fiber placement*. Trelleborg Sealing Solutions. [Online]. [En ligne]. Disponible sur : http://www.automateddynamics.com/article/thermoplastic-composite-basics/processing-methods/automated-fiber-placement [Consulté : 21 mai2021].

[7] Leibniz-Institut fur Polymerforschung Dresden. *Tailored Fiber Placement – Principle* [En ligne]. Disponible sur : https://www.ipfdd.de/en/departments/institute-of-polymer-materials/composite-materials/fields-of-research/complex-structural-components/tailored-fiber-placement-principle/ [Consulté : 6 juin2021].

[8] D.B. Sitotaw et coll., « Additive Manufacturing and Textiles— State-of-the-Art », *Appl. Sci.* , 10 (15), p. 5033, 2020.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[9] Z. Quan et al., « Additive manufacturing of multi-directional preforms for composites: opportunities and challenges », *Materials Today*, vol. 18, no 9, p. 503-512, novembre 2015

[10]Y. Liu, T.-W. Chou, Additive manufacturing of multidirectional preforms and composites: from three-dimensional to four-dimensional *Materials Today Advance*, vol. 5, 2020

[11]V. Koncar, *Smart Textiles for in situ Monitoring of Composites*,Woodhead Publishing, 2019.

[12]I. Jerkovic et al., « Textile Sensors Validation to Perform in Situ Structural Health Monitoring of Textile Reinforced Thermoplastic Composites », *J Fashion Technol Textile Eng*, Vol. 4, 2018. [En ligne]. Disponible sur : https://www.scitechnol.com/peer-review/textile-sensors-validaton-to-perform-in-situ-structural-health-monitorng-of-textile-reinforced-thermoplastic-composites-N96O.php?article_id=7372 [Consulté : 06 juin2021].

[13]*S. Nauman, G. Lubineau*, *« Nanocomposite sensors for smart textile composites »* in Nanosensors and Nanodevices for Smart Multifunctional Textiles, *A. Ehrman et al., Elsevier, 2020, pp. 55-81*

[14]D. Ionesi, C. Dumitras, L. Ciobanu, A., Vircan, « Analysis of low velocity impact behaviour of aramid-linen fibre reinforced composites using Taguchi method », JOAM, vol. 14, no. 5-6, pp. 544-550, 2012

[15]E. Ailenei et al., « New composite materials using polyester woven fabric scraps as reinforcement and thermoplastic matrix », *Industria Textila*, vol. 72, no. 1, pp. 62-67, 2021

[16]A.E. Krauklis et al., « Composite Material Recycling Technology—State-of-the-Art and Sustainable Development for the 2020s », *Journal of Composite Science*,vol. 5, 2021. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.mdpi.com/2504-477X/5/1/28 [Consulté : 6 juin2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Le principal avantage du renforcement textile 3D (préformes) se réfère à

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Élimination des opérations nécessaires pour placer le(s) matériau(s) textile(s) selon la géométrie finale du composite
b) Facilite l'introduction de résines
c) Temps de production plus court pour les préformes

Question 2 : La durabilité des CTR se réfère à

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) La conception durable des matériaux composites et des technologies de recyclage
b) Comportement des composites pendant le cycle de vie
c) Méthodes d'élimination des matériaux composites en fin de vie

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 5.3 Textiles avancés et intelligents

Heura Ventura et Monica Ardanuy
UPC

1. Avant-propos

Cette conférence 5.3 sur *les textiles avancés et intelligents* est incluse dans l'unité 5, qui correspond aux textiles techniques et *fonctionnels.*

Tout d'abord, pour une meilleure compréhension de la leçon, il convient d'expliquer brièvement le contexte général dans lequel la leçon est formulée, car il n'y a pas d'accord général pour la classification et la différenciation entre les textiles techniques, fonctionnels, avancés et intelligents, ce qui conduit parfois à une certaine confusion. Ces concepts sont clarifiés dans l'introduction.

Ensuite , les différents principes de fonctionnement des principaux textiles intelligents disponibles sont expliqués *(c'est-à-dire* les textiles chromo-actifs, les textiles électroactifs et les textiles à mémoire de forme). Puis, dans le but de fournir les perspectives d'avenir pour ce type de matériaux, certaines applications des domaines médical, automobile, du bâtiment, des loisirs et de la sécurité personnelle sont examinées.

2. Introduction

Les textiles techniques et fonctionnels peuvent être considérés comme les tissus et/ou produits textiles dont les performances vont au-delà de ce qui est établi comme conventionnel. En d'autres termes, il s'agit de textiles à haute performance, dont les propriétés sont plus spécifiques et meilleures que les caractéristiques classiques des tissus généralement utilisés comme textiles pour les vêtements et les textiles de maison (Figure 1). À titre d'exemple, un t-shirt conventionnel pour vêtements n'a pas d'autres performances que l'esthétique, couvrant le corps et fournissant, essentiellement, une absorption de la sueur et une certaine isolation thermique. Cependant, si ce T-shirt est fabriqué par des fibres d'aramide, ayant une excellente ténacité et une bonne résistance aux températures élevées, ou bien ayant subi un traitement de surface permettant de repousser les insectes (comme les moustiques), ce dernier peut être classé dans la catégorie des textiles techniques et fonctionnels.

Néanmoins, les textiles avancés et intelligents sont ici considérés comme un type spécifique de textiles techniques et fonctionnels, car ils peuvent fournir une interaction avec l'environnement

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

(Figure 1). Essentiellement, les textiles avancés et intelligents (également appelés textiles intelligents) sont des tissus et / ou des produits textiles qui interagissent avec leur environnement, étant capables de détecter et / ou de répondre à des stimuli environnementaux, où l'origine du stimulus et de la réponse peut provenir d'une source électrique, thermique, mécanique, chimique ou magnétique.

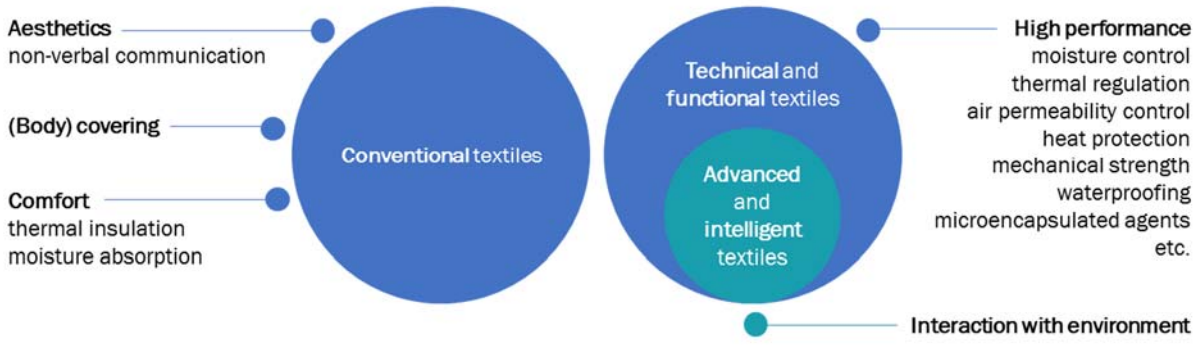


Figure 1. Schéma contextuel de la conférence, différenciant les concepts en fonction de leurs fonctions principales.

D'après l'exemple précédent, soit on applique sur le T-shirt un traitement PCM (Phase Change Material) afin d'assurer la régulation thermique, soit on ajoute des capteurs de pression et de température pour surveiller les signes vitaux d'un patient hospitalisé, donc ce T-shirt devient communiquant avec le corps humain et on peut le classer dans la catégorie des textiles communicants et intelligents.

Figure 2. Schéma conceptuel pour la définition d'un textile intelligent.

Ci-après, par souci de simplicité, ils seront appelés *textiles intelligents.*

2.1. Classification des textiles intelligents

Il n'y a pas d'accord général pour la classification des textiles intelligents. Ils peuvent être triés en fonction de leur niveau d'interaction (comme mesure de leur « intelligence »), de leur niveau

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

d'intégration (comment la fonction intelligente est introduite) ou de leur principe de fonctionnement (selon le type de stimulus/réponse). Cependant, le premier est le plus typique. Ainsi, généralement, les textiles intelligents sont classés en fonction de leur *niveau* d'interaction en textiles passifs, *actifs* ou *très intelligents* [1]–[3].

2.1.1. Textiles intelligents passifs

Les textiles intelligents passifs ne peuvent détecter que les conditions environnementales et leur interaction avec l'environnement est extrêmement limitée. Par conséquent, ils peuvent être considérés comme des *capteurs*. Quelques exemples de textiles intelligents passifs sont les tissus avec des fibres optiques intégrées qui peuvent conduire la lumière ou les tissus conducteurs, par exemple. Ces exemples et d'autres sont présentés à la figure 3.

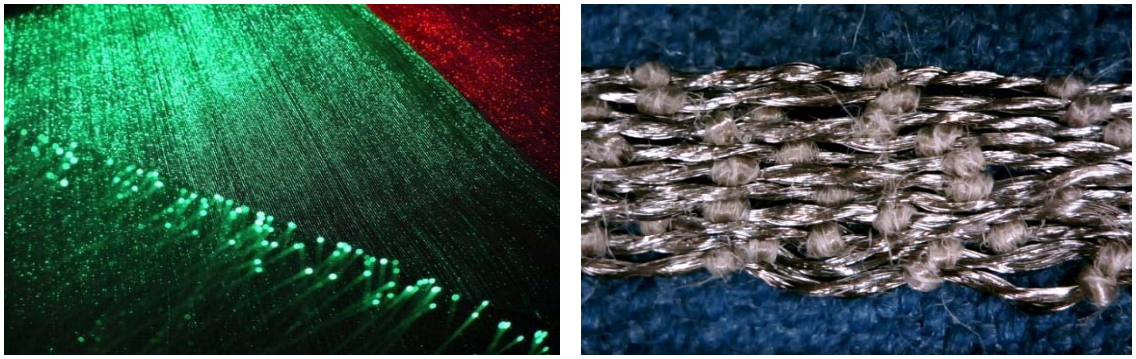


Figure 3. Textiles intelligents passifs: (à gauche) tissu à fibres optiques [41]; (à droite) broderie électriquement conductrice.

2.1.2. Textiles intelligents actifs

Les textiles intelligents actifs peuvent à la fois détecter et réagir à l'environnement, et par conséquent, ils peuvent être considérés à la fois comme des *capteurs* et / ou des *actionneurs.* Un textile qui peut se souvenir d'une forme (effet de mémoire de forme) et y passer dans certaines conditions ou un textile capable de transformer une entrée mécanique en courant électrique (effet piézoélectrique) sont deux exemples de textiles intelligents actifs.

2.1.3. Textiles très intelligents

Les textiles très intelligents (ou Ultra Smart Textiles), peuvent non seulement détecter et réagir, mais aussi s'adapter aux conditions environnementales. Cela implique qu'ils ont besoin d'une unité/ partie agissant comme le cerveau, capable d'effectuer la cognition, le raisonnement et l'activation des fonctions. Le meilleur exemple, dans ce cas, sont les e-textiles (ou textiles électroniques), qui combinent plusieurs pièces électroniques pour fournir des capacités de détection et d'actionnement à un substrat textile.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.2. Niveau d'intégration des textiles intelligents

Il convient de mentionner qu'il existe de multiples façons de produire un textile intelligent, car il existe de multiples points de la chaîne de valeur du textile auxquels les « fonctions intelligentes » peuvent être intégrées. Par exemple, un tissu conventionnel peut être transformé en un textile intelligent en imprimant une pâte conductrice ou en appliquant par-dessus une substance thermochromique ; mais il peut également être tissé avec des fils fonctionnels, tels que des fils conducteurs ou à mémoire de forme, qui permettent de produire directement un tissu intelligent ; ou il peut y avoir sur ce dernier des fils conducteurs brodés reliés à des pièces électroniques pour obtenir un textile intelligent... et les combinaisons sont multiples.

D'une manière générale, il existe une relation entre le stade auquel la « condition intelligente » est introduite et le niveau d'intégration atteint (figure 4). Le niveau d'intégration le plus bas serait l'assemblage de pièces sur un substrat textile (par broderie, par exemple), d'où sa capacité à se trouver dans les dernières étapes de la chaîne de valeur textile, tandis que le niveau d'intégration le plus élevé serait, par exemple, de produire un filament d'ingénierie, capable de contenir tous les éléments requis dans une cellule solaire, afin de tisser directement des tissus à récupération d'énergie.

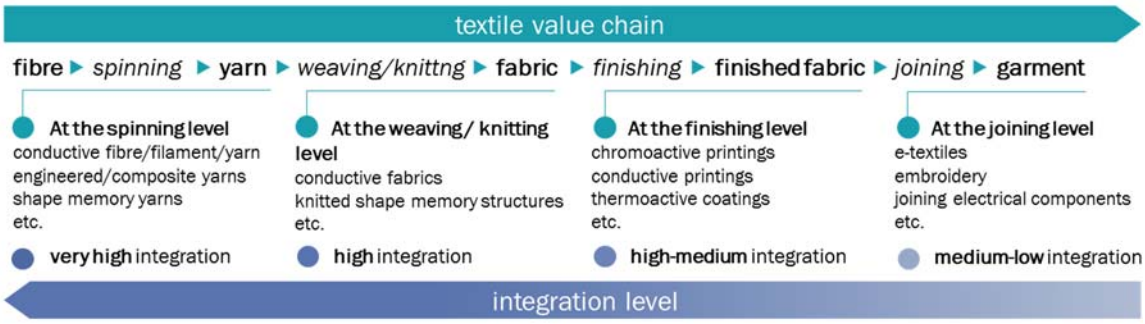


Figure 4. Relation générale entre le niveau d'intégration et la valeur de la chaîne textile

Bien que ces intégrations se situent clairement à différents niveaux, toutes ces options sont incluses dans la catégorie des textiles avancés et intelligents. De ce fait, comme mentionné précédemment, le niveau d'intégration est un autre critère de classification utilisé pour les textiles intelligents [4], définissant le degré d'intégration dans le vêtement, le degré d'intégration dans le *tissu* et le degré d'intégration dans la fibre, typiquement. En ce sens, des niveaux d'intégration élevés (tels que des intégrations au niveau de la fibre ou du tissu) sont préférables, mais l'état de l'art est limité par les technologies et les connaissances actuelles. Cependant, de nombreux efforts sont focalisés sur le développement de solutions textiles intelligentes et certaines sont déjà disponibles sur le marché.

2. Principaux types de textiles intelligents

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Dans cette section, les types les plus importants de textiles intelligents sont examinés. À cette fin, le tri a été structuré selon le principe de *fonctionnement* (c'est-à-dire en fonction du type de stimulus / réponse), car il s'agit d'une approche plus convenable pour des fins académiques, et quatre catégories principales sont établies: *chromo-actif, électro-actif,* mémoire de *forme* et textiles électroniques ou *e-textiles*.

2.1. Textiles chromo-actifs

Les textiles chromo-actifs, parfois appelés textiles « caméléons », sont tous ces textiles qui réagissent aux changements des conditions environnementales par un changement de couleur. Ces conditions environnementales peuvent être : la température (thermochromisme), l'exposition au rayonnement électromagnétique (photochromisme), un stimulus électrique (électrochromisme), la polarité d'un solvant (solvatochromisme), ou le pH (halochromisme), entre autres. Cependant, les deux textiles chromo-actifs les plus étendus sont ceux photochromiques et *thermochromiques.*

2.1.1. Textiles thermochromiques

Comme mentionné précédemment, le thermochromisme est la propriété de certaines substances de changer de couleur en réponse à un changement de température, et les systèmes thermochromiques sont classés en deux types: *les systèmes intrinsèques* (où le changement de couleur dépend uniquement de la chaleur) et les *systèmes indirects* (où l'environnement est modifié par la chaleur et cela, à son tour, provoque le changement de couleur). Dans les textiles, l'effet thermochromique est principalement obtenu par deux approches : les *cristaux liquides* (système intrinsèque) et les *colorants leuco* (système indirect) [5]. De plus, bien que les deux soient des systèmes thermochromiques organiques, les principes de fonctionnement des cristaux liquides sont basés sur des changements dans la structure, tandis que dans les colorants leuco sont basés sur le réarrangement moléculaire.

Les cristaux liquides sont des matières organiques qui restent dans une phase intermédiaire stable entre un solide et un liquide (mésophases), où les molécules n'ont pas nécessairement un ordre de position, mais elles ont un certain degré d'ordre d'orientation. Bien qu'il existe trois types de cristaux liquides : nématique, smectique et cholestérique, ce dernier est-il celui qui est pertinent pour le thermochromisme. Dans la phase cholestérique, également appelée phase nématique tordue ou chirale, l'orientation de la direction change progressivement entre les couches (Figure 5). Par conséquent, les molécules présentent un arrangement hélicoïdal caractérisé par la distance d'une rotation hélicoïdale complète, définie comme la « longueur de pas ».

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

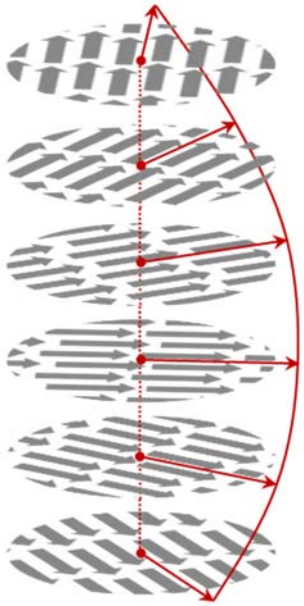


Figure 5. Arrangement hélicoïdal en phase cholestérique à cristaux liquides

La couleur de ces substances organiques dépend de la lumière qui se reflète dans cette structure hélicoïdale. En fait, le pas de la structure hélicoïdale, qui dépend de la température, est ce qui régit la longueur d'onde de la lumière réfléchie (Figure 6).

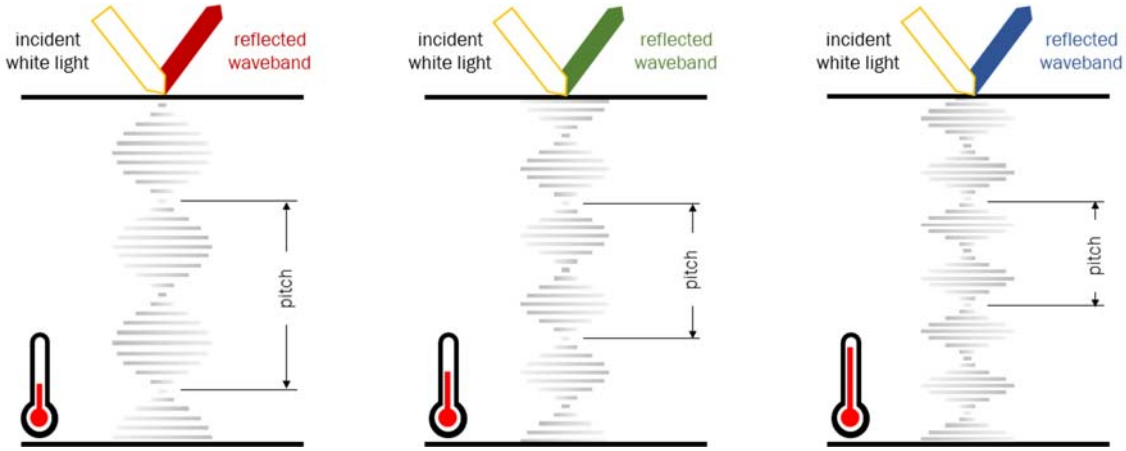


Figure 6. Effet thermochromique à cristaux liquides : la couleur change avec la longueur de la hauteur dans un cristal liquide.

En règle générale, les cristaux liquides fournissent un changement de couleur progressif, en réponse à une variation progressive de la température (Figure 7). Il convient de mentionner que, étant donné que la couleur dépend de la lumière réfléchie, les systèmes à cristaux liquides nécessitent un background noir non réfléchissant (garantissant que toute la lumière transmise est absorbée et non

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

réfléchie, ce qui interférerait avec les effets de coloration du cristal liquide) pour une visualisation optimale de la couleur [6].

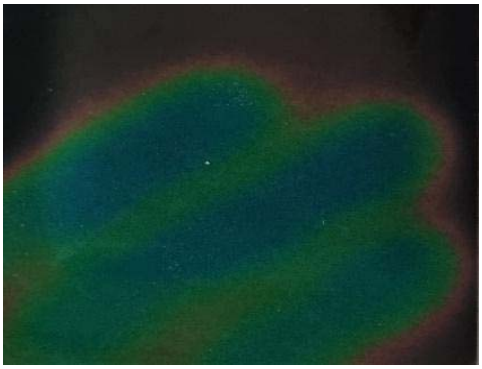


Figure 7. Surface thermochromique à cristaux liquides montrant un changement de couleur progressif dû à la température.

En raison de la nature des matériaux thermochromiques à cristaux liquides, qui sont des fluides visqueux difficiles à manipuler et sensibles à la contamination, ils doivent être isolés de l'environnement extérieur. Ceci est généralement réalisé par des processus d'encapsulation, et pour les applications textiles, les cristaux liquides sont normalement microencapsulés et appliqués sur les tissus comme des pigments, en utilisant des liants de résine appropriés [7].

Par conséquent, les thermochromes à cristaux liquides ont été appliquées avec succès dans les textiles par des procédés d'impression et de revêtement, créant des surfaces textiles qui peuvent fournir des cartographies de température avec variation de couleur. Cependant, il existe d'autres options intéressantes pour introduire la thermochromie à cristaux liquides dans les textiles. Par exemple, il est possible de produire des fibres composites contenant les molécules organiques à cristaux liquides dans le noyau d'une fibre extrudée noyau-enveloppe [6], ce qui signifie qu'il est possible de produire des structures textiles dans lesquelles leurs propres fils/filets présentent l'effet thermochromique.

D'autre part, **les colorants leuco** sont basés sur des réarrangements moléculaires de composés organiques, ce qui entraîne une augmentation de la conjugaison de la molécule et la formation d'un nouveau chromophore, révélant le changement de couleur [7]. Bien que le réarrangement moléculaire puisse être affecté par les variations de température, la polarité du solvant ou le pH du système, l'effet thermochromique des colorants leuco repose principalement sur une dépendance à la température d'un équilibre acido-basique. En d'autres termes, les colorants leuco sont des systèmes indirects à base de colorant sensibles au pH qui modifient la valeur du pH en raison du chauffage.

En effet, les systèmes thermochromiques à colorant leuco nécessitent l'interaction de trois composants : un colorant organique (le colorant leuco, un colorant ionochrome sensible au pH), un

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

révélateur (qui agit comme donneur de protons) et un solvant organique (qui doit être non volatil, hydrophobe et de point de fusion bas) [5]. En raison de la nécessité d'enfermer ces trois composants ensemble dans un environnement contrôlé, les thermochromiques à colorant leuco sont présentés sous une forme microencapsulée (Figure 8).

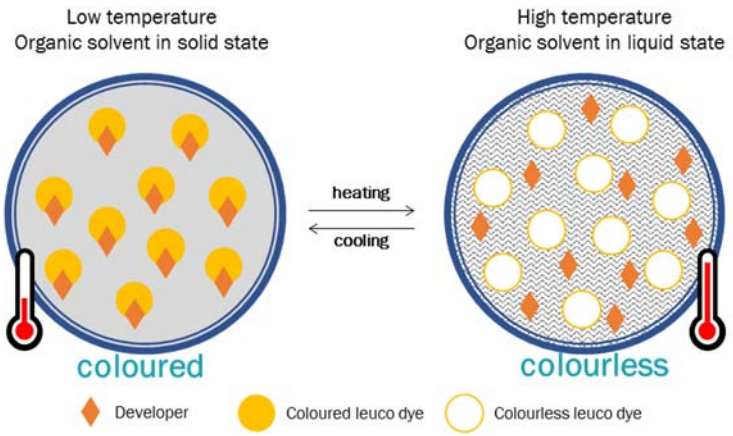


Figure 8. Schéma de la composition d'une microcapsule thermochromique à colorant leuco et de son principe de fonctionnement.

Grâce à l'environnement fermé, les trois composants enfermés peuvent jouer leur rôle dans les réactions qui ont lieu. Lors du chauffage, le solvant organique fond, ce qui permet une modification de l'interaction entre l'ancien colorant (colorant leuco) et le révélateur, ce qui entraîne soit une révélation de couleur, soit une perte de couleur (dans la figure 8, il s'agit d'une perte de couleur). Lors du refroidissement, le solvant se solidifie et le système revient à son état et à sa couleur d'origine [7].

Il existe de nombreux types de colorants utilisés dans les compositions thermochromiques tels que *les dérivés du bleu de N-acyl leuco-méthylène, les colorants fluorés, les composés de diarylphtalide,* les composés *de diphénylméthane* et *les composés de spiropyrane* [7]. Cependant, les plus pertinents sont la *lactone violette cristalline* (du groupe des composés diarylphtalides) et *les fluors.*

De même, pour les cristaux liquides, les colorants leuco thermochromiques présentent la forme de microcapsules, qui ne sont pas appliquées par des méthodes d'épuisement ou d'imprégnation (procédés utilisés avec des colorants), mais par des procédés d'impression ou de revêtement et en utilisant des liants adéquats, comme cela serait fait pour les pigments. Cependant, il est également possible d'obtenir des filaments polymères thermochromiques par coloration de masse (c'est-à-dire que les microcapsules thermochromiques sont ajoutées au système polymère lors de la polymérisation [7]). Par conséquent, il est possible d'intégrer cette fonction intelligente au niveau de la fibre et du tissu.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Il existe certaines propriétés de performance à prendre en compte dans les systèmes thermochromiques :

- Propriétés colorimétriques : telles que la température d'activation ou de commutation (qui est la température à laquelle la coloration/décoloration se produit, principalement contrôlée par la température de fusion du solvant), ou l'hystérésis de coloration/décoloration (liée aux différences de changement de couleur entre le cycle de chauffage et de refroidissement).

- Force de la couleur : elle est généralement faible. Les cristaux liquides nécessitent un fond sombre pour une meilleure visualisation, tandis que les colorants leuco, étant donné que seule une petite quantité de colorant est présente dans le système final, l'effet thermochromique est souvent limité aux nuances pastel. En ce sens, la concentration du matériau microencapsulé est essentielle: pour les pâtes d'impression, par exemple, une teneur de seulement 15 à 30% des microcapsules de colorant leuco est recommandée.

- Solidité du système thermochromique à la lumière, au lavage, au frottement, etc.: D'une part, la décoloration photochimique des colorants leuco peut entraîner une faible résistance à la lumière pour de nombreux systèmes. D'autre part, la faible affinité pour la fibre de toutes les thermochromies microencapsulées entraîne de mauvaises propriétés de lavage et de solidité au frottement, fortement dépendantes du liant utilisé.

Les textiles thermochromiques sont souvent appliqués à des fins esthétiques dans les vêtements à la mode, les t-shirts et les pulls d'entraînement et les jouets. Cependant, la thermochromie peut avoir d'autres applications plus fonctionnelles, comme dans le secteur de la santé, si elle est appliquée sur les vêtements ou les masques faciales des bébés pour détecter la fièvre, par exemple, ou dans le domaine militaire pour les uniformes de camouflage.

2.1.2. Textiles photochromiques

Le photochromisme est la propriété de certaines substances pour révéler un changement de couleur réversible induit par la lumière [9]. Il est produit par la transformation entre deux formes d'un composé chimique (forme thermodynamiquement stable A et forme induite B, qui présentent des spectres d'absorption différents), causée par le rayonnement électromagnétique (Figure 9). Pour être plus précis, la réaction de la forme stable A est toujours déclenchée par la lumière, mais la réaction inverse peut être induite aussi par la lumière (photochromisme de *type P),* ou plutôt thermiquement (photochromisme de type *T).* En outre, les substances photochromiques peuvent également être classées comme positives ou négatives en fonction de l'effet de changement de couleur. Lorsque la forme stable A est incolore et que la forme induite B est colorée, l'effet est un photochromisme *positif.* Lorsque la forme stable A est colorée et que la forme induite B est incolore, l'effet est un photochromisme *négatif.*

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

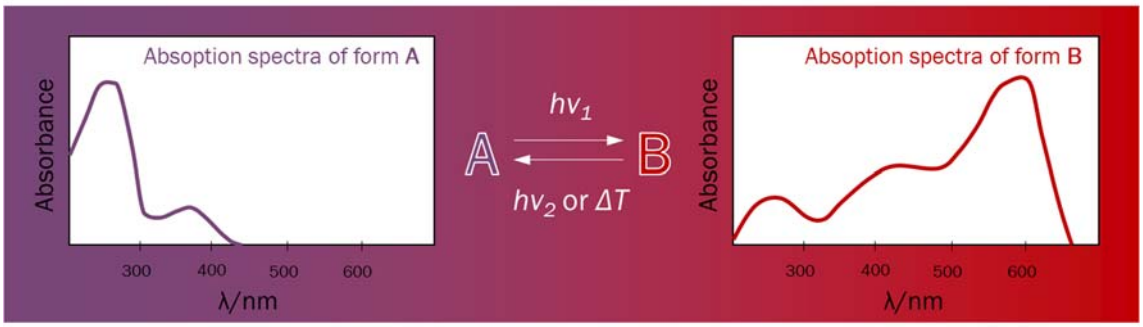


Figure 9. Explication schématique de l'effet photochromique

Il existe certaines propriétés de performance qui, outre les problèmes économiques et de fabrication, limitent la viabilité de la commercialisation de substances photochromiques. En termes généraux, les agents photochromiques doivent présenter [7], [9] :

- Bonne absorption et efficacité photochromiques: avec un bon niveau d'absorption optique sous irradiation lumineuse (traduit en termes d'intensité, de couleur et de forme de bande), mais également capable de révéler des changements de couleur clairs avec une concentration minimale d'agent photochromique. En fait, pour les photochromiques positifs, cela peut être lié à la colorabilité, qui est la capacité du matériau photochromique incolore ou légèrement coloré à développer une coloration. De plus, les photochromiques positifs devraient de préférence posséder une faible couleur résiduelle dans leur mode inactivé.
- Vitesse de coloration-blanchiment élevée : réponse rapide pour passer de l'état incolore à l'état coloré, ou vice versa, lorsqu'il est exposé au stimulus déclencheur. À cet égard, les demi-temps, qui est le temps nécessaire à la moitié de l'absorbance de la forme colorée à une longueur d'onde spécifique dans un cycle, devrait être faible. Cependant, dans tous les cas, la réponse rapide doit être équilibrée avec l'atteinte d'une profondeur d'ombre suffisante (point précédent).
- Bonne stabilité. Ce terme comprend la photo stabilité (résistance à la photodégradation avec une exposition prolongée aux UV), la stabilité thermique (variation minimale de la réponse photochromique avec la température) et la résistance à la fatigue (perte minimale de performance au fil du temps due à la dégradation chimique, généralement causée par l'oxydation pendant les cycles de coloration-blanchiment).

Parmi tous les composés qui présentent le photochromisme, ceux qui méritent d'être mentionnés à titre d'exemples sont les spiropyranes (type T), les spirooxazines (type T), les naphthopyranes (type T) et les diaryléthènes (type P).

En ce qui concerne l'utilisation de l'effet photochromique dans les textiles, il existe une variété de colorants photochromiques commerciaux, de pigments et même de microcapsules qui peuvent être

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

appliqués sur les tissus et les fils par des procédés de teinture, d'impression ou de revêtement [7], [11].

À titre d'exemple, la figure 10 présente l'évolution d'une pâte d'impression photochromique à l'exposition à la lumière, après que la zone centrale a été partiellement soumise à un blocage de la lumière. Il faut tenir compte du fait que certains composés photochromiques peuvent bien que présenter des difficultés techniques ou de mauvais effets en raison d'un manque de compatibilité avec certains procédés textiles [10].

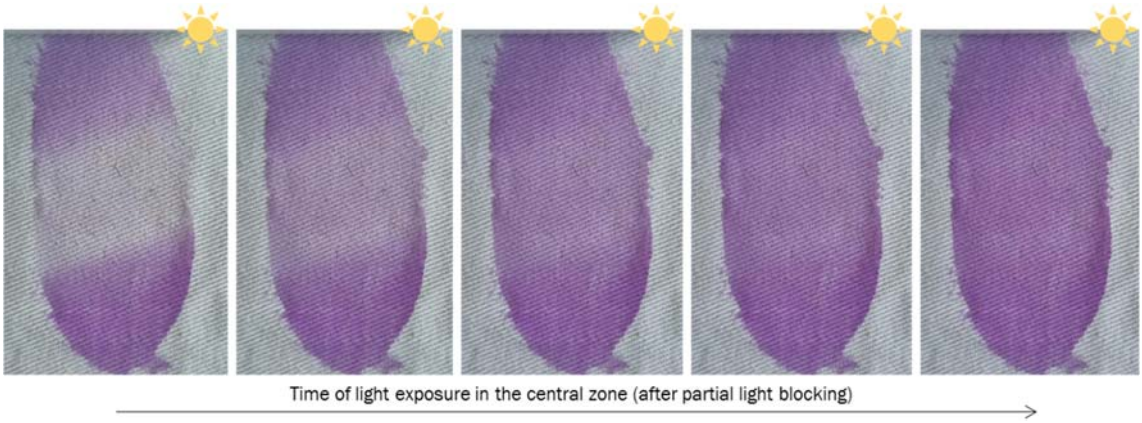


Figure 10. Évolution de l'effet photochromique d'une pâte d'impression. Après un blocage partiel de la lumière dans la zone centrale, une exposition à la lumière révèle le changement de couleur

Cependant, il est également possible d'obtenir des polymères colorés en masse (masterbach) photochromique est mélangé avec les pastilles de polymère antérieures à la formation des fibres), ce qui signifie qu'il est possible de produire des fibres photochromiques et des non-tissés avec un niveau d'intégration très élevé de cet effet intelligent.

Étant donné que le principal intérêt du photochromisme est le changement de couleur, ces textiles photochromiques sont utilisés: dans les domaines cosmétique et médical comme indicateurs d'exposition aux UV et protection contre les UV; dans les domaines militaires comme systèmes de protection et de camouflage; à des fins esthétiques dans les vêtements de mode et promotionnels comme les t-shirts, les casquettes, les sacs fourre-tout ou les décorations de broderie; ou pour les systèmes d'authentification dans les logos et les noms de marque afin d'éviter la duplication.

Néanmoins, d'autres possibilités émergent. Par exemple, les composés photochromiques de type P ont attiré de plus en plus l'attention car, en tant que molécules optiquement commutables, ils ont une application potentielle en tant qu'équivalents optiques de composants électroniques [7]. Par conséquent, des composés photochromiques peuvent également être appliqués sur des textiles pour l'enregistrement / stockage d'informations optiques.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

De plus, comme mentionné ci-dessus, l'effet photochromique est également lié à d'autres changements physiques. Pour cette raison, de nombreuses autres possibilités se présentent, telles que l'utilisation de composés photochromiques pour produire des textiles avec une mouillabilité de surface accordable.

2.2. Textiles électroactifs

Les textiles électro-actifs sont tous les textiles qui réagissent à certains stimuli fournissant comme réponse un courant électrique. Ces stimuli peuvent être : la température (pyroélectricité et thermoélectricité), le rayonnement solaire (effet photovoltaïque), le stress mécanique (piézoélectricité), ou le frottement entre deux matériaux dissemblables (triboélectrique), entre autres. Étant donné que le courant électrique généré pourrait être idéalement stocké dans une batterie, ces textiles sont souvent mentionnés comme des solutions de récupération d'énergie. À titre d'exemple, les textiles *piézoélectriques* et triboélectriques sont examinés dans cette section.

2.2.1. Textiles piézoélectriques

La piézoélectricité est la propriété de certains matériaux pour développer une charge électrique compte tenu d'un stimulus de contrainte mécanique et vice-versa. Par conséquent, lorsqu'ils sont soumis à une pression ou à des vibrations, ils génèrent généralement un signal électrique d'une ampleur limitée. Ceci est produit en raison de la formation de dipôles en raison de leur structure cristalline non centrosymétrique (pour les chaînes métalliques) ou en raison de la distribution des chaînes polymères et de son orientation moléculaire dans la structure (à base de polymère) lorsqu'elles sont mécaniquement déformées ou soumises à un impact. Généralement, cet effet est réversible *(c'est-à-dire* qu'il peut produire une vibration ou une déformation en réaction à un stimulus électrique).

En science générale des matériaux, il existe de nombreux matériaux capables de produire un tel effet: des matériaux naturels tels que le quartz monocristallin, des piézocéramiques comme le zirconate-titanate de plomb (PZT), ou des piézopolymères comme le fluorure de polyvinylidène (PVDF) [12], en dehors des piézocomposites et piézofilms dérivés. Mais tous ces matériaux ne sont pas réalisables pour être appliqués dans le domaine textile : ils doivent présenter une faible densité, une grande flexibilité (pour s'adapter aux courbures du corps) et un faible coût. Pour cette raison, les textiles piézoélectriques sont principalement à base de piézopolymères.

De nombreux polymères synthétiques tels que le polypropylène, le polystyrène, le poly (méthacrylate de méthyle), le polyamide nylon-11 ou l'acétate de vinyle peuvent présenter une piézoélectricité. Cependant, l'effet est si faible et/ou instable qu'il n'a aucune signification pratique [13]. Une forte piézoélectricité se trouve dans le poly(fluorure de vinylidène) (PVDF), les copolymères PVDF et les polyimides, entre autres, mais le PVDF et ses copolymères sont les plus étudiés en raison

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

de leur stabilité thermique, de leur bonne résistance chimique, de leur bonne aptitude au traitement et de leurs bonnes propriétés mécaniques [14].

En raison de sa configuration atomique d'atomes de fluor (qui sont chargés négativement) et d'atomes d'hydrogène (qui sont chargés positivement) le long du squelette carboné, le PVDF est intrinsèquement polaire. Cependant, le moment polaire net du matériau dans son état d'origine est nul en raison de l'orientation aléatoire des cristallites individuelles. Mais les dipôles moléculaires du $PVDF_{CF2-CH2}$ peuvent s'arranger en diverses conformations, conduisant à cinq phases piézoélectriques, les phases α, β et γ étant les plus pertinentes (Figure 11). Dans ce cas, β phase du PVDF est la phase la plus responsable de l'effet piézoélectrique. Cependant, la phase la plus courante est la phase α. Par conséquent, pour un effet piézoélectrique optimal, il est nécessaire d'induire la phase β.

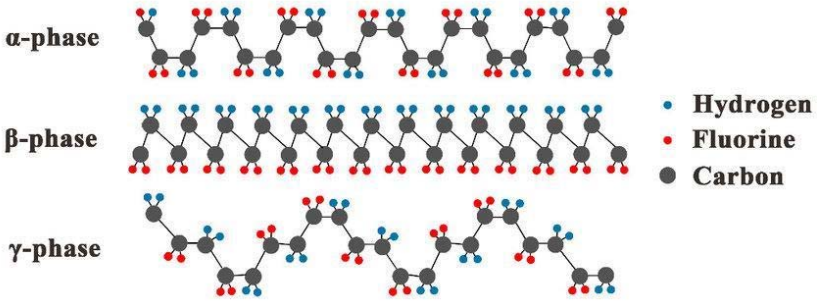


Figure 11. Phases PVDF [15]

L'augmentation de la teneur en phase β peut être obtenue lors du traitement du PVDF, en étirant d'abord les fibres (de sorte qu'elles soient orientées perpendiculairement aux chaînes orientées), puis en les soumettant ensuite à un champ électrique suffisamment élevé pour orienter les dipôles (polarisation) [16]. Cette deuxième étape peut être effectuée en: a) mode contact, avec deux électrodes connectées à une alimentation haute tension; b) mode sans contact, en appliquant une décharge corona à fort potentiel à proximité de la fibre [17]. Cependant, la polarisation peut être améliorée en effectuant cette deuxième étape à haute température ou en étirant simultanément l'échantillon.

En outre, de bons résultats piézoélectriques peuvent être obtenus en produisant des membranes électro-filées, car l'électro-filage peut entraîner des teneurs plus élevées en phase β; en particulier si la solution de PVDF est préalablement dopée avec des donneurs d'électrons (tels que la tri-p-tolyamine ou le TTA) et des donneurs de trous (tels que le 2-(4-tert-butylphényl)-5-(4-biphényl)-1,3,4-oxidiazole ou le butyl-PBD) et filée séparément pour former une membrane bi-couche [18]. Bien que la sensibilité de la membrane soit assez bonne, les signaux de tension sont relativement faibles, ce qui indique la facilité d'utilisation de ces membranes en tant que capteurs, mais pas pour les applications de récupération d'énergie.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cependant, d'autres voies pour obtenir des textiles piézoélectriques avec PVDF pour la récupération d'énergie ont été évaluées, telles que les entretoises 3D tricotées [19]. Dans ce cas, un générateur piézoélectrique tricoté à structure unique a été fabriqué, dans lequel les couches externes (électrodes supérieures et inférieures) ont été fabriquées avec un multifilament en polyamide revêtu d'argent, relié à un fil d'espacement de monofilament PVDF avec environ 80% de contenu en phase β. La densité de puissance de sortie et l'efficacité fournies par le système se sont avérées significativement plus élevées que celles des structures tissées et non tissées 2D [19].

2.2.2. Textiles triboélectriques

L'effet triboélectrique se produit à l'interface entre les surfaces de deux matériaux différents en contact, principalement lorsqu'ils génèrent une friction par frottement. Une charge électrique se transfère d'un matériau à l'autre, produisant une certaine tension. Cependant, pour y parvenir, les deux matériaux doivent présenter des tendances de charge opposées ; c'est-à-dire qu'ils doivent être des matériaux largement séparés de la série triboélectrique (figure 12), avec un classement des matériaux en fonction de leur tendance à gagner ou à perdre des charges (c'est-à-dire négatives et positives, respectivement). Plus la différence entre les deux matériaux est élevée, plus le transfert pendant le frottement est élevé.

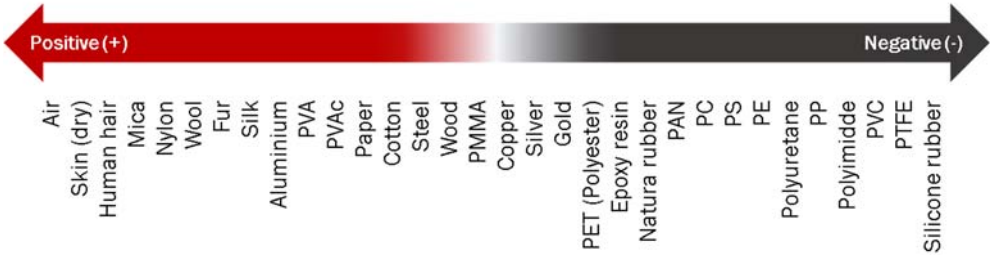


Figure 12. Série triboélectrique.

Avec ce principe de fonctionnement, il est possible d'obtenir des générateurs triboélectriques qui, sur la base de cycles répétés de contact et de séparation entre deux matériaux avec des charges triboélectriques polarisées opposées (c'est-à-dire le frottement), peuvent entraîner les électrons d'avant en arrière dans le circuit externe entre les électrodes et, par conséquent, produire la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique (Figure 13). À cette fin, un générateur triboélectrique de base est basé sur deux matériaux d'électrification et des électrodes conductrices.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

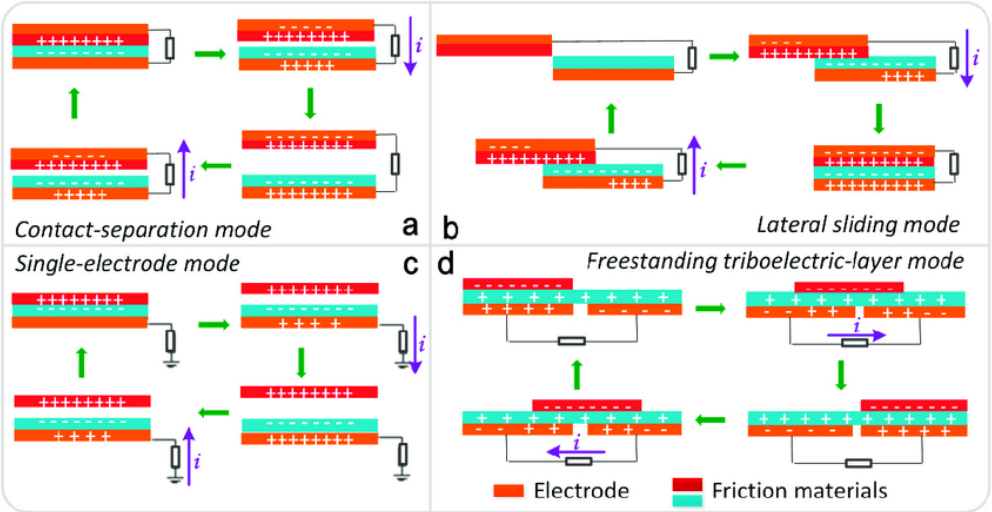


Figure 13. Différents modes de fonctionnement de l'électronique triboélectrique à effet: a) mode de séparation; b) mode coulissant planaire; c) mode électrode unique; et d) mode couche de friction autoportante [20]

Dans la littérature, il est possible de trouver plusieurs approches pour atteindre un tel dispositif. Par exemple, Cui et al. [21] ont développé un nano-générateur triboélectrique portable textile pour récolter l'énergie du mouvement du corps, en utilisant des éléments négatifs en tissu polyester (Dacron®) et des éléments positifs en tissu polyamide 6-6 (nylon). Les éléments, en forme de longs rectangles de tissu, ont été fixés entrelacés sur une base en tissu de coton et connectés de manière appropriée à l'extrémité du circuit correspondant. Le résultat a été un nano-générateur à base de textile qui, lorsqu'il a été testé et placé dans l'avant-bras, pourrait transformer l'énergie mécanique de la balançoire du bras en énergie électrique pour alimenter facilement une lampe électroluminescente en forme de tube [21].

Une autre approche a été utilisée par Yu et al. [22], qui ont développé des textiles nanogénérateurs triboélectriques à partir de fils spéciaux noyau-écorce avec des fibres conductrices en acier inoxydable comme noyau et des fibres diélectriques en polyuréthane (Spandex®) comme écorce. Les fibres du noyau étaient reliées entre elles sous forme d'électrodes et les fibres de l'écorce en polyuréthane servaient de matériaux diélectriques pour la triboélectrification. Les fils ont été tissés et tricotés pour obtenir des étoffes, lesquelles ont été testées dans l'avant-bras mais également appliqués sur des chaussettes, ce qui a conduit à des résultats positifs [22]. Le point intéressant de l'approche est que d'autres fibres peuvent être utilisées comme fibres de couverture (comme le coton, la soie ou le polyester) ou comme fibres de base (fibres de cuivre, fibres d'aluminium ou fibres composites à base de carbone).

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Avec la sérigraphie comme approche, Cao et al. [23] ont produit un nanogénérateur triboélectrique textile basé sur un mode à électrode unique en imprimant avec une encre à base de nanotubes de carbone un réseau d'électrodes sur un tissu en nylon (l'électrode), puis ont utilisé un tissu de soie comme matériau de friction. Couches de friction : peau humaine et tissu de soie. Dans ce cas, l'interaction de charge est produite entre la soie et la peau de l'utilisateur, qui présentent différentes tribopolarités. Le dispositif textile qui en a résulté présentait des performances de détection tactile et gestuelle très sensibles, ce qui souligne son potentiel pour les applications d'interface homme-machine [23].

2.3. Textiles à mémoire de forme

Les textiles à mémoire de forme sont des tissus, des vêtements ou d'autres produits à base de textile qui, en raison de leur construction, y compris des pièces ou des fils de matériaux à mémoire de forme, sont capables de récupérer une forme originale prédéfinie dans certaines conditions environnementales (c'est-à-dire, généralement, par chauffage). Il existe deux principaux types de matériaux à mémoire de forme, qui sont potentiellement applicables aux applications textiles : les alliages à mémoire de forme (AMF) et les polymères à mémoire de forme (PMF).

2.3.1. Alliages à mémoire de forme (AMF)

Certains métaux présentent certaines capacités de transformation de forme dérivées des transitions de phase. L'exemple le plus courant sont les alliages nickel-titane, également connus sous le nom d'alliages de nitinol, qui ont des transitions de phase entre les phases austénitique et martensitique (Figure 14) dans une plage de température favorable. Il convient de mentionner que, selon la composition, les températures auxquelles la transition entre ces deux phases produites peut varier.

En ce qui concerne les phases, la phase martensitique est la phase stable trouvée à basse température, généralement trouvée dans un état jumelé. Cependant, il peut être facilement déformé, ce qui conduit à une martensite déjumelée et à une déformation de forme conservée. D'autre part, la phase stable à des températures plus élevées est l'austénite (Figure 14).

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

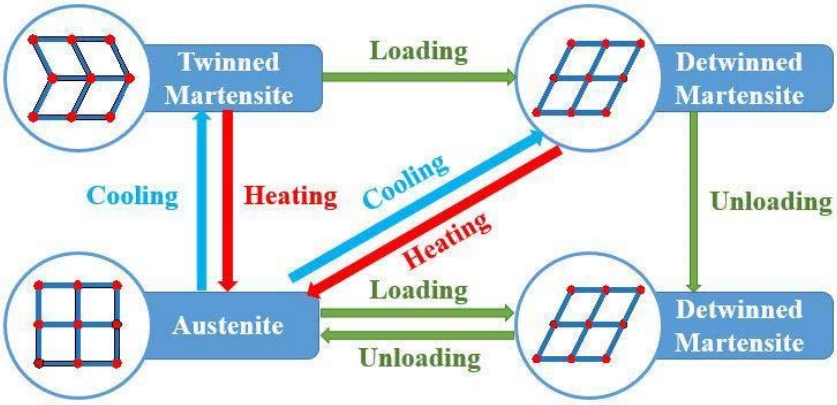


Figure 14. Transitions de phase dans les AMF induites par la température ou la tension [24]

La *mémoire de forme unidirectionnelle* (Figure 15) se produit comme suit :

- À partir du matériau sous sa forme d'origine et à une température froide (donc dans une phase de martensite jumelée, correspondant à l'origine de l'axe de la figure 15), il peut se déformer en une nouvelle forme, conduisant à une martensite déjumelée (plan contrainte-déformation, figure 15). La forme et la phase sont maintenues dans le temps tout en étant maintenues à une température froide.
- Cependant, lorsqu'il est chauffé, le matériau a tendance à passer à cette phase stable. La transition est produite dans une plage de température, entre les températures de départ de l'austénite (A_s) et de l'austénite finale (A_f). Cette transformation sans diffusion, de la martensite détachée à l'austénite, est capable de défaire la déformation précédemment transmise au matériau, en récupérant la forme d'origine (plan température-déformation, Figure 15). Au cours de ce processus, le matériau est même capable de faire certains travaux, tels que résister à certaines contraintes, dans le processus. (par exemple, étant la forme d'origine du matériau un ressort comprimé, le ressort élargi pourrait tirer un certain poids pendant la récupération de la forme).
- À partir de ce moment, (pendant le refroidissement), le matériau se transforme à nouveau en phase stable de martensite jumelée (retour sur l'axe de température, figure 15). La transition a également lieu dans une plage de température entre le début de la martensite (M_s) et la finale de la martensite (M_f), bien qu'il n'y ait pas de changement de forme cette fois-ci.

Mais ces matériaux peuvent présenter d'autres effets qui sont strictement liés à ceci. D'une part, avec un processus de personnalisation approprié (qui consiste à soumettre le matériau à une mise en forme cyclique dans des conditions chaudes et froides), le matériau est capable de se souvenir de deux formes, la froide montrée par la phase martensitique et la chaude par la phase austénitique. Cependant, le matériau ne pouvait pas faire beaucoup de travail pendant la récupération de la forme

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

(par exemple, la forme froide du matériau étant un ressort comprimé, et la forme chaude du matériau un ressort élargi, le ressort pourrait ne pas pousser ou tirer un poids pendant les transformations de martensite en austénite et d'austénite en martensite, respectivement). C'est ce qu'on appelle la *mémoire de forme bidirectionnelle.*

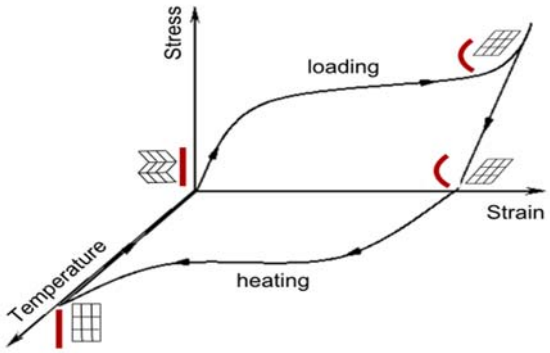


Figure 15. Diagramme Contrainte-Déformation-Température représentant l'effet de mémoire de forme unidirectionnel. Notez qu'il y a une barre rouge représentant la façon dont la forme se transformerait pendant le processus (Crédits image : Mmm-jun, CC BY-SA 4.0. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ShapeMemoryEffect1.png)

D'autre part, le matériau est également capable d'induire de la martensite déjumlée directement à partir de la phase austénite lorsqu'il est déformé à chaud. Cet effet produit un plateau caractéristique dans la courbe contrainte-déformation. Cependant, cette phase de martensite induite par la déformation n'est pas stable, et dès que la contrainte est libérée, le matériau se transforme en phase d'austénite, produisant le retour immédiat à la forme d'origine. Ainsi, ce que l'on observe, à la fin, c'est un comportement superélastique du matériau, qui atteint des déformations élevées avec des contraintes relativement faibles, mais ces déformations étant totalement récupérables (élastiques). Ceci est connu, comme indiqué ci-dessous, *superélastique* ou pseudoélastique.

En effet, selon où se trouve la plage A_s-A_f (transformation de l'austénite) par rapport à la température de travail, le matériau présentera une mémoire de forme ou une superélasticité. En fait, le comportement de l'hystérésis montré dans les courbes contrainte-déformation est similaire s'il est tracé à l'aide d'un troisième axe de température (figure 16).

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

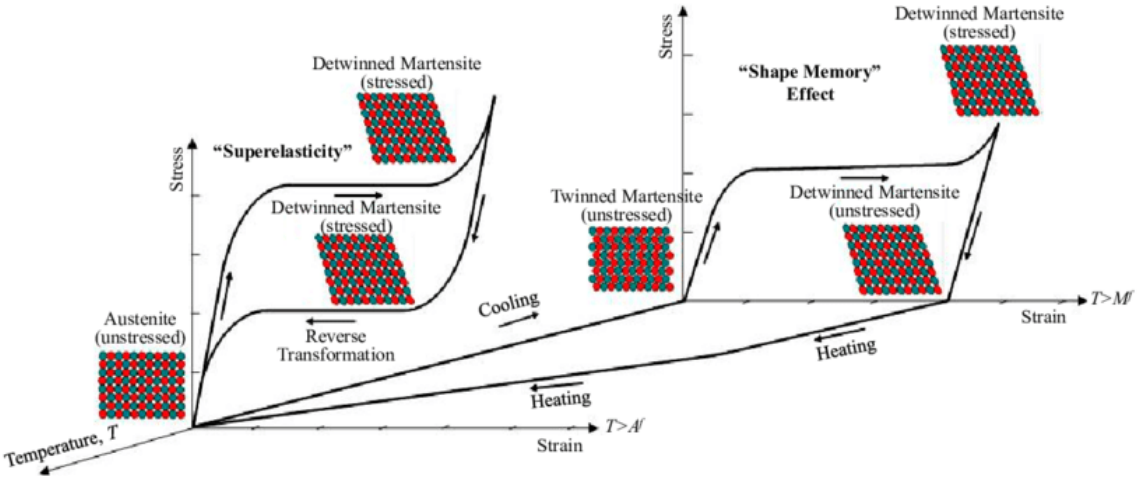


Figure 16. Diagramme Contrainte-Déformation-Température où la mémoire de forme unidirectionnel et les effets super élastiques ont été représentés [25]

L'utilisation des AMF pour des applications à base de textile a été modestement étudiée dans la littérature [26], [27], mais il existe peu de propositions pour l'utilisation d'actionneurs basés sur des AMF pour certaines applications fonctionnelles telles que l'amélioration de l'isolation dans les vêtements de protection [28], et d'autres exemples plus conceptuels que fonctionnels tels que le tissu Oricalco de Grado Zero [29], ou le haut adaptable de Mariëlle Leenders [28]. Malgré leur prix élevé, les AMF peuvent encore présenter un certain potentiel dans les produits techniques à base de textile, tels que les stores et rideaux intelligents ou les solutions d'isolation intelligentes, par exemple.

2.3.2. Polymères à mémoire de forme (PMF)

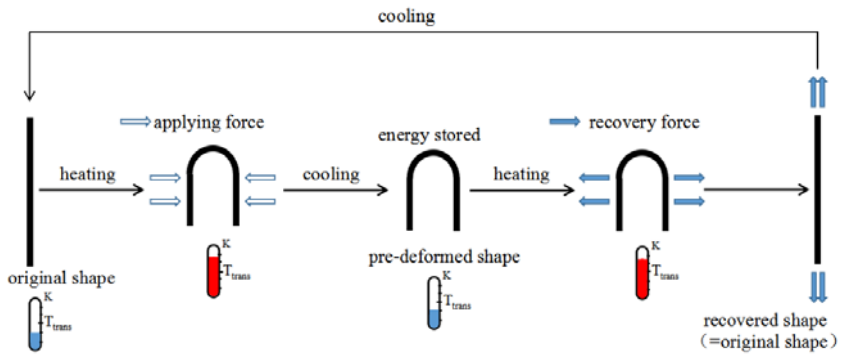
Afin d'obtenir des solutions plus douces, confortables et flexibles, des polymères à mémoire de forme (PMF) peuvent être utilisés à la place des AMF. Les PMF sont des matériaux polymères qui peuvent être déformés et fixés sous une forme temporaire, à partir de laquelle ils ne retrouvent leur forme d'origine que lorsqu'ils sont exposés à un stimulus approprié. Ce changement de forme est prédéfini et déterminé par la déformation mécanique conduisant à la forme temporaire. Généralement, le stimulus déclencheur est la chaleur ou la lumière, mais le plus courant est le type induit thermiquement, qui peut être indirectement atteint par irradiation avec la lumière IR, application de courant électrique, exposition à des champs magnétiques alternatifs ou immersion dans l'eau [30].

L'effet de mémoire de forme n'est pas une propriété intrinsèque des PMF, mais une fonctionnalisation du matériau qui résulte de la combinaison de l'architecture moléculaire du polymère avec un traitement sur mesure et une technologie de programmation. Le processus de déformation thermomécanique requis est le suivant (Figure 17) [30] :

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Premièrement, chauffer et déformer davantage le PMF au-dessus de sa température de transition T_{trans}.
- Ensuite, refroidir le PMF sous son T_{trans} et retirer la force applicable. À ce stade, la forme temporaire a été fixée.
- Pour retrouver la forme d'origine, le PMF pré-déformé doit être chauffé au-dessus du T_{trans}, puis refroidir le PMF sous le T_{trans} dans sa forme d'origine pour le conserver.



Figue 17. Schéma du processus de déformation thermomécanique des polymères à mémoire de forme [31]

La figure 18 représente à la fois les implications thermiques et mécaniques du processus de mémoire de forme dans un diagramme contrainte-déformation-température. De A à B, il y a l'état de déformation à haute température, où le matériau présente un faible module d'élasticité, allongement large et, dans certains cas, des propriétés viscoélastiques. De B à C se produit l'état de refroidissement à déformation constante. Avec la diminution de la température, le module d'élasticité et la contrainte nécessaire pour maintenir la contrainte constante les deux augmentent progressivement. De C à D correspond à l'état de déchargement à basse température, où la contrainte est déchargée à zéro. Suite à ceci, il y a une certaine récupération de la déformation correspondant à la partie élastique de la déformation, mais la majeure partie de la pré-déformation est stockée. Enfin, de D à A est l'état de récupération de chauffage. La contrainte est nulle à cette étape, et la déformation diminue progressivement avec la température, jusqu'à ce que la forme d'origine soit complètement récupérée [30].

Un tel effet est basé sur la formation d'une morphologie séparée par phase, dans laquelle l'une des deux phases (souvent appelées segments) agit comme un commutateur moléculaire. Les deux différents segments nécessaires sont le segment *de commutation* ou *souple*, qui fixe temporairement la forme programmée par une transition vitreuse, une cristallisation ou des liaisons réversibles ; et le segment *permanent* ou *dur,* responsable de la conservation de la forme originale de l'ensemble du PMF. Ce segment dur peut être atteint par réticulation chimique dans le réseau de polymères, incorporation de réseaux interpénétrant ou phases cristallines.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

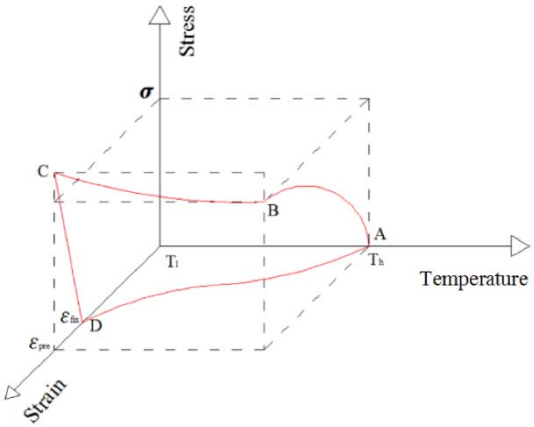


Figure 18. Diagramme Contrainte-Déformation-Température montrant le processus thermomécanique de l'effet de mémoire de forme dans les PMF [31]

Comme mentionné ci-dessus, la récupération de forme a généralement lieu lors du chauffage au-dessus de la température de transition (T_{trans}), ce qui éteint les segments mous. Par conséquent, selon le système polymère, le T_{trans} peut être une température de transition vitreuse (T_g) ou une température de fusion (T_m).

Il existe de nombreuses possibilités dans l'utilisation des SMPs pour les textiles intelligents, par exemple [32]:

- Dans le contrôle thermique et de l'humidité dans les vêtements, ils peuvent s'adapter à la chaleur car le volume moléculaire libre du PMF augmente lorsque la température corporelle est supérieure au T_g, permettant un meilleur transfert de vapeur d'eau et de chaleur.
- Dans des vêtements adaptables à la forme, capables d'agrandir et de s'adapter à la forme et à la taille du porteur presque sans appliquer de pression.
- Dans les tissus qui peuvent conserver leur forme, ce qui signifie que la déformation dérivée pour l'utilisation, les froissements, etc. peuvent être évitées ou éliminées grâce à la présence de PMF dans le revêtement ou même comme une certaine teneur en fibres.
- Les textiles présentent une mouillabilité intelligente, ce qui permet de s'adapter entre le comportement hydrophobe et hydrophile, ce qui conduit à des fonctionnalités de nettoyage intelligentes.

2.4. E-textiles

Les textiles électroniques ou *e-textiles* en abrégé, sont des systèmes textiles qui contiennent un ou plusieurs composants électroniques dans le but de remplir une ou plusieurs fonctions. Par conséquent, l'examen des textiles électroniques est lié à l'examen des capteurs textiles, des actionneurs, des fibres/textiles conducteurs d'électricité et d'autres composants.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Un domaine dans lequel les textiles électroniques ont un potentiel important mais difficile est celui de l'électronique portable. À leurs débuts, les appareils électroniques étaient difficiles à transporter en raison de leur taille et de leur puissance, mais la réduction pour les rendre portables a atteint un point où des appareils électroniques relativement petits et flexibles ont pu être intégrés dans nos vêtements habituels (par exemple, montres intelligentes, bracelets de sport, etc.).

Les wearables sont spécialement conçus pour être portés près du corps, et les vêtements peuvent être très proches, tout en étant flexibles, légers, adaptables à l'activité de l'utilisateur et confortables. Ces dispositifs électroniques nécessitent de nombreux composants pour créer des systèmes dotés de capacités de détection, de traitement, d'actionnement, de communication, de récupération et de stockage d'énergie (figure 19).

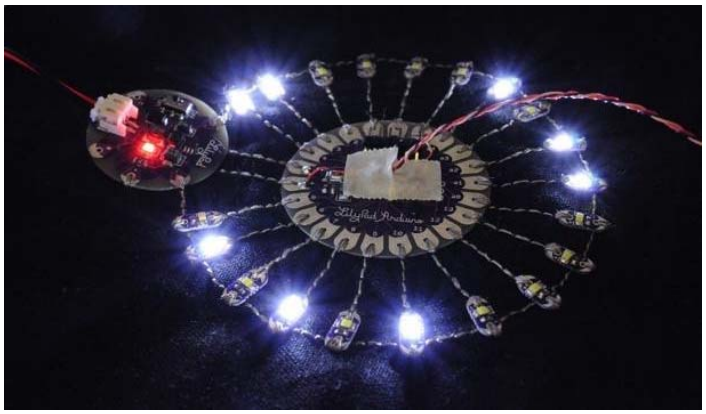


Figure 19. Exemple d'un circuit Lilypad Arduino composé de plusieurs composants cousus sur un substrat textile (Crédits image : Osamu Iwasaki, CC BY-SA 2.0. www.flickr.com/photos/26775981@N05/4199918875)

Le potentiel de l'e-textile réside dans le fait que beaucoup de ces composants pourraient être réalisés avec les e-textiles, par exemple:

- Connecteurs, tels que les câbles de connexion textiles
- Batteries et composants de récupération d'énergie, tels que les nanogénérateurs triboélectriques et les batteries rechargeables
- Capteurs, tels que les capteurs tactiles (capacité)
- Actionneurs, tels que les impressions électroluminescentes émettant de la lumière ou les textiles chauffants
- Antennes, pour communiquer le vêtement porté avec un appareil externe tel qu'un téléphone mobile.

De nombreuses solutions sont actuellement en cours de développement par des chercheurs et/ou par des entreprises leaders dans le monde entier. Cependant, beaucoup de ces composants nécessitent des couches conductrices. Par conséquent, les conducteurs textiles sont un besoin basique pour les textiles électroniques.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.4.1. Conducteurs textiles

Les textiles conducteurs peuvent être obtenus principalement avec des fibres conductrices ou des pâtes et encres d'impression conductrices.

Fibres conductrices

Certaines fibres conductrices sont intrinsèquement conductrices, car leur propre matériau est conducteur, comme les fibres métalliques ou de carbone, par exemple. D'autres fibres, généralement polymères, atteignent leur conductivité par des moyens externes, par exemple en recouvrant de substances conductrices, ou en ajoutant des particules conductrices ou des nanoparticules dans la solution ou en fondant avant la formation de fibres (fibres composites). Cependant, leurs conductivités varient (figure 20) et, dans certains cas, peuvent ne pas suffire à les utiliser pour les fils et les tissus conducteurs d'électricité. C'est le cas des fibres de carbone, dont la faible conductivité (haute résistivité) les rend utiles pour la dissipation de charges électrostatiques, mais pas pour les applications électriques.

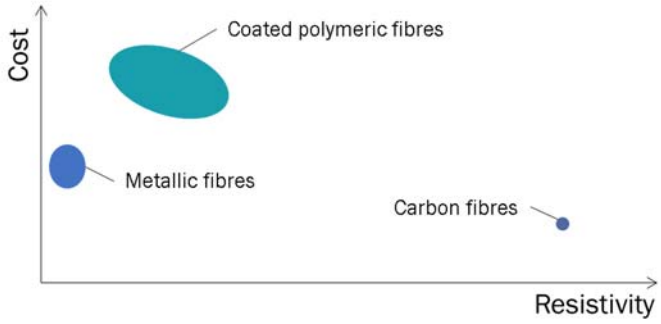


Figure 20. Représentation indicative de la relation entre le coût et la résistivité des fibres conductrices.

En fait, les fibres que l'on trouve le plus souvent dans la composition des fils et des tissus pour les applications e-textiles sont:

- *Fibres métalliques*. Généralement en acier inoxydable, cuivre, argent, laiton ou aluminium; produit par tréfilage, c'est-à-dire un processus de production mécanique dans lequel le diamètre d'un câble est progressivement réduit. Ils sont les plus conducteurs, mais leur rigidité ne les rend pas toujours adaptés aux applications textiles.
- *Fibres conductrices enrobés de polymères Coated conductive polymer fibres*: Fibres polymères (comme les fibres polyamides) recouvertes de métaux, de substances galvaniques ou de sels métalliques, utilisant des procédés tels que la pulvérisation ou le placage sans électrolyse. Cette dernière implique plusieurs réactions simultanées générées dans une solution aqueuse sans l'utilisation d'une alimentation électrique externe.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- *Composites de fibres et polymère conducteurs* : Obtenues en incluant dans la matrice polymère de petites particules métalliques, des nanoparticules de carbone (comme les nanotubes de carbone ou le noir de carbone) ou même d'autres polymères conducteurs (p. ex. polypyrrole, polyaniline). Souvent, ils présentent la forme de fibres bi-composants.

Comme mentionné ci-dessus, ces fibres peuvent être utilisées pour la production de fils et de tissus. Les fils peuvent avoir différentes constructions, torsions, etc. Ensuite, les tissus générés avec de tels fils peuvent être tissés ou tricotés. Cependant, des fils conducteurs peuvent également être utilisés pour broder directement la forme souhaitée sur un substrat de tissu différent.

La lavabilité de telles solutions est bonne en termes généraux, bien que l'abrasion mécanique puisse produire des dommages dans les revêtements ou une discontinuité sur les fibres conductrices, ce qui réduit l'efficacité des supports conducteurs.

Pâtes et encres d'impression conductrices

Les pâtes d'impression conductrices sont constituées d'une dispersion de particules hautement conductrices (carbone, argent, argent/chlorure d'argent, or, cuivre, graphène...) et de liants (c'est-à-dire de résines appropriées telles que le PES ou l'époxy) dans un solvant organique ou inorganique. Dans le cas des encres, le concept est fondamentalement le même, mais la viscosité de la solution doit être plus faible, ce qui signifie que les particules conductrices doivent être d'un diamètre très fin et que les liants doivent être contrôlés (voir éliminés pour être appliqués dans un processus séparé).

Les pâtes d'impression sont souvent appliquées par des techniques de sérigraphie, tandis que les encres sont destinées à l'impression à jet d'encre. En raison de la capacité d'étirement des textiles, les systèmes rigides de pâte/encre doivent être évités. À cette fin, certaines pâtes conductrices extensibles, à base d'argent ou de polymères PEDOT-PSS, sont disponibles sur le marché. De plus, dans certains cas, les impressions peuvent nécessiter une encapsulation appropriée pour être lavables.

3. Applications des textiles intelligents

Les textiles avancés et intelligents (ou textiles intelligents) présentent un intéressant et large intervalle de propriétés et de performances qui ont des applications potentielles dans tous les secteurs textiles techniques. un petit aperçu de 5 secteurs différents est donné ici. Les secteurs ont été choisis en fonction des intérêts actuels de l'UE et des centres européens de recherche et d'innovation pour les matériaux intelligents (CONTEXT EU Cost Action [33]). Par conséquent, les principales applications des textiles intelligents se trouvent dans les secteurs de la médecine, *de* la *protection individuelle,* des transports*, des loisirs* et *du bâtiment.*

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Secteur médical

Le secteur de la santé et de la médecine possède l'un des plus grands budgets de recherche et d'investissement en raison de l'intérêt général et mondial dans le domaine. De plus, ce secteur a l'une des plus grandes reconnaissances pour les solutions à haute valeur ajoutée. En raison de ces faits, les textiles intelligents médicaux connaissent une expansion rapide, et de nos jours, il existe de nombreux projets de recherche et des produits développés disponibles sur le marché qui sont basés sur des textiles intelligents. Il existe de nombreuses applications possibles dans le domaine médical, où les textiles intelligents peuvent jouer un rôle important [34].

D'autre part, dans le domaine du *traitement médical,* des recherches ont été menées pour développer des produits tels que: les thérapies à base de médicaments à base de textile qui permettent une libération meilleure et plus localisée des médicaments nécessaires au traitement des maladies (comme le cancer, par exemple), augmentent l'efficacité tout en réduisant même les effets secondaires; dispositifs médicaux pour les traitements de photothérapie pour les maladies de la peau, la jaunisse néonatale, régénération de la peau, etc.; tissus antibactériens; ou des produits à base de textile pour le soin actif des plaies et la régénération des tissus, entre autres.

D'autre part, dans le domaine du *traitement médical,* des recherches ont été menées pour développer des produits tels que: les thérapies à base de médicaments à base de textile qui permettent une libération meilleure et plus localisée des médicaments nécessaires au traitement des maladies (comme le cancer, par exemple), augmentent l'efficacité tout en réduisant même les effets secondaires; dispositifs médicaux pour les traitements de photothérapie pour les maladies de la peau, la jaunisse néonatale, régénération de la peau, etc.; tissus antibactériens; ou des produits à base de textile pour le soin actif des plaies et la régénération des tissus, entre autres.

Secteur de la protection individuelle

Les équipements de protection individuelle (EPI) ont pour but de couvrir et de protéger les parties du corps (mains, yeux, tête, membres, pieds, etc.) contre différentes menaces telles que la pollution de l'air, la chaleur ou le froid extrême, les rayonnements électromagnétiques, les produits chimiques, le feu, les décharges électriques, etc. En raison de la forte valeur ajoutée de ce type de produits, largement utilisés dans les lieux de travail dangereux, l'intégration de fonctions intelligentes est possible. En outre, certains domaines spécifiques, tels que la protection militaire, utilisent des budgets importants pour la recherche et le développement à cet égard.

Quelques exemples d'EPI intelligents à base de textiles sont les protège-genoux intelligents absorbant les chocs; tissus chauffants pour le contrôle de la température; des gants intelligents à changement de couleur qui détectent et avertissent tout contact avec des substances dangereuses; vêtement lumineux intelligent capable de détecter un manque de lumière et d'émettre si nécessaire; ou des combinaisons connectées IoT, capables de collecter et d'envoyer des données pour l'analyse

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

de la sécurité (des pompiers, par exemple) ou capables de prévenir les collisions avec d'autres éléments connectés en mouvement pour une sécurité accrue dans les entrepôts, entre autres [35].

Secteur des transports

Le secteur de transport est un excellent domaine d'application pour les textiles intelligents [36]. Dans l'aérospatiale, l'eau et les véhicules de transport terrestre tels que les avions, les vaisseaux spatiaux, les bateaux ou les voitures, par exemple, il y a une évolution constante vers l'efficacité, le développement durable et la durabilité. Cela converge vers le développement de véhicules légers et durables capables de consommer un minimum de carburant / énergie, en indiquant les matériaux composites comme une option intéressante pour faire face à ces besoins. Grâce aux technologies de fabrication de matériaux composites, il est possible d'intégrer des capteurs dans les renforts textiles, et ces capteurs intégrés peuvent permettre la surveillance interne des structures pour détecter à quel moment une maintenance est nécessaire.

En outre, les textiles dans les véhicules de transport ont d'autres fonctions. Dans les sièges et les panneaux intérieurs, les textiles offrent un confort pendant le voyage, agissent comme revêtement et fournissent également l'esthétique intérieure. Dans les parties intérieures, les textiles sont utilisés pour éviter le bruit et les vibrations, contribuant encore une fois au confort de l'utilisateur. De plus, ils jouent un rôle clé dans les pièces liées à la protection telles que les ceintures, les boucliers protection, les filtres, les airbags, etc. Beaucoup de ces applications peuvent également bénéficier de l'inclusion de fonctionnalités intelligentes. Par exemple, les tissus intelligents peuvent : détecter la taille, le poids ou la température d'un occupant ; assurer la régulation thermique (chauffage ou refroidissement) des sièges; effectuer la gestion thermique à l'intérieur du véhicule avec des surfaces textiles contenant des PCM; lutter contre la fatigue; participer aux systèmes de récupération et de stockage d'énergie; contrôler l'éclairage; isoler le bruit ambiant; ou simplement changer de couleur pour une expérience différente [36].

Secteur des loisirs

Avec le secteur médical, le secteur des loisirs (et plus particulièrement les wearables ,vêtements intelligents connectés, pour le sport) est probablement le domaine dans lequel les textiles intelligents ont été mieux acceptés, malgré le retard qui a pris pour passer du niveau de la recherche au niveau industriel. De nos jours, les vêtements intelligents deviennent populaires parmi les jeunes professionnels du sport [37]. En fait, les textiles intelligents peuvent aider les athlètes pendant l'entraînement ou la réadaptation. Il existe des combinaisons pour les professionnels qui peuvent surveiller leur performance (et même leurs réponses émotionnelles), ce qui leur permet d'améliorer leur technique pendant les entraînements ; mais il existe également sur le marché des vêtements intelligents (t-shirts, hauts, shorts, soutien-gorge, etc.) destinés aux amateurs, capables de surveiller les signes vitaux des patients, par exemple.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cependant, il existe de nombreuses autres possibilités d'application pour les textiles intelligents dans le secteur des loisirs. Ceux-ci comprennent: des vêtements de sport pour un confort amélioré, tels que les systèmes de chauffage et de refroidissement intelligents pour contrôler la température corporelle; vestes et gilets pour motocyclistes et cyclistes qui intègrent des lumières LED pour accroître la visibilité; maillots de bain pour réduire la friction dans l'eau ou la protection contre les UV; chaussures intelligentes capables de localiser et de guider le coureur à travers un certain itinéraire; systèmes airbag gonflables pour cyclistes; chaussettes intelligentes pour mesurer l'ajustement des chaussures; tapis de yoga qui détectent votre posture; gilets de sauvetage gonflables intelligents pour les sports nautiques; des gants qui permettent de contrôler le téléphone portable pendant la pratique; ou des sacs à dos équipés de batteries solaires, entre autres [37].

Secteur du bâtiment

Dans le secteur du bâtiment, les textiles peuvent être utilisés comme géotextiles, isolants thermiques et acoustiques, éclairage, bâches pour la protection solaire, structures architecturales de traction et intérieurs de maisons; et comme dans les cas précédents, certaines de ces solutions peuvent bénéficier des fonctionnalités fournies par les textiles intelligents, principalement sensoriels, actionneurs, communicatifs, chauffants/refroidissants et luminescents [38].

L'avenir des textiles intelligents dans les applications intérieures (citons par exemple les tapis de détection de pression ou de récupération d'énergie, les rideaux intelligents qui peuvent contrôler l'éclairage même en émettant de la lumière si nécessaire, ou les revêtements muraux qui aident à assurer des environnements sûrs) semble prometteur. Cependant, il existe d'autres applications très intéressantes sur le plan technologique (telles que la détection de renforts textiles pour la géotechnique ou la surveillance des bâtiments de la stabilité, des dommages / contraintes ou des changements de chaleur) qui n'ont pas encore trouvé suffisamment de soutien.

4. Défis et opportunités pour les textiles avancés et intelligents

En conclusion, il convient de faire un bref résumé des défis et des opportunités auxquels le secteur des textiles intelligents peut être confronté.

En ce qui concerne les opportunités, il convient de mentionner que ce domaine de recherche bénéficie d'un large soutien tant de la part des secteurs de la recherche que du commerce [4]. Selon le rapport *Smart Textiles - Global Market Trajectory & Analytics,* publié par Global Industry Analysts Inc. en 2021, le marché mondial des textiles intelligents, dans le contexte de la crise covid-19, a été estimé à 1,8 milliard de dollars américains en 2020 et devrait atteindre une taille révisée de 5,9 milliards de dollars américains d'ici 2026, avec un TCAC de 22%., une croissance considérable est donc attendue pour les années suivantes [39].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cependant, l'expansion de l'application des textiles intelligents est également confrontée à certains défis. Tout d'abord, il y a des défis techniques. Les textiles intelligents doivent pouvoir fonctionner dans n'importe quel environnement sans perte de performance pendant l'activité de l'utilisateur, quelles que soient l'humidité, la température, la pression ou les conditions d'étirement mécanique. De plus, pour de nombreuses applications mais surtout pour les vêtements intelligents, la lavabilité du produit est indispensable, même s'il contient des composants électroniques. Par ailleurs, la sécurité et le respect de la réglementation sont un autre facteur à prendre en compte [34].

D'autre part, il existe d'autres risques à évaluer, tels que les investissements en capital élevés requis pour certaines technologies, le développement technique important requis (ce qui implique des étapes de recherche et de développement coûteuses), ou la disponibilité sur le marché et l'acceptation du produit, car un lancement infructueux peut être une fin terrible pour des années de développement et d'investissements, mais aussi une sortie inattendue peut entraîner des problèmes dans les capacités de fabrication, la disponibilité du produit, et donc, dans l'évaluation des clients. En outre, l'absence de normalisation et de réglementation, ainsi que les questions éthiques et sociales, sont d'autres obstacles à surmonter [4].

Références

[1] X. X. Zhang et X.M. Tao, « Smart textiles (1): Passive smart », *Texte. Asia*, vol. 32, no 7, p. 45-48, 2001.

[2] X. X. Zhang et X.M. Tao, « Smart textiles (2): Active smart », *Texte. Asia*, vol. 32, no 7, p. 49-52, 2001.

[3] X. X. Zhang et X.M. Tao, « Smart textiles (3): Very smart », *Texte. Asia*, vol. 32, no 8, p. 35-37, 2001.

[4] K. Cherenack et L. van Pieterson, « Smart textiles: Challenges and opportunities », *J. Appl. Phys.* , vol. 112, no 9, p. 091301, novembre 2012.

[5] R.M. Christie, « Chromic materials for technical textile applications », dans *Advances in the Dyeing and Finishing of Technical Textiles*,Elsevier, 2013, pp. 3-36.

[6] L. Werff *et al.*, « Thermochromic composite fibres containing liquid crystals formed via melt extrusion », J. *Mater. Sci.* , vol. 48, p. 5005 à 5011, 2013.

[7] M. A. Chowdhury, M. Joshi et B. S. Butola, « Photochromic and Thermochromic Colorants in Textile Applications », *J. Eng. Fiber. Fabr.* , vol. 9, no 1, p. 155892501400900, mars 2014.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[8] W. Oh, S. Angupillai, P. Muthukumar, H.-S. Ainsi, et Y. Son, « Synthèse de nouveaux fluorans substitués par le tert-butyle et une étude de leur comportement thermochromique », *Dye. Pigment.* , vol. 128, p. 235-245, mai 2016.

[9] H. Bouas-Laurent et H. Dürr, « Photochromisme organique (rapport technique de l'IUPAC) », *Pure Appl. Chem.* , vol. 73, no 4, p. 639-665, janvier 2001.

[10]S. Nigel Corns, S.M. Partington et A. D. Towns, « Industrial organic photochromic dyes », *Color. Technol.* , vol. 125, no 5, p. 249-261, novembre 2009.

[11]M. Kert, V. Krkoč et M. Gorjanc, « Influence of Optical Brightening Agent Concentration on Properties of Cotton Fabric Coated with Photochromic Microcapsules Using a Pad-Dry-Cure Process », *Polymers (Bâle).* , vol. 11, no 12, 2019.

[12]Pye, « Matériaux piézoélectriques », *Prospecteur,*2015. [En ligne]. Disponible sur : https://knowledge.ulprospector.com/2689/pe-piezoelectric-materials/. [Consulté le : mai 27, 2021].

[13]J. S. Harrison et Z. Ounaies, « Polymers, Piezoelectric », dans *Encyclopedia of Smart Materials*,Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2002, pp. 780-792.

[14]Zaszczyńska, A. Gradys et P. Sajkiewicz, « Progress in the Applications of Smart Piezoelectric Materials for Medical Devices », *Polymers (Bâle).*, vol. 12, no 11, p. 2754, nov. 2020.

[15]T. Wu *et al.*, « A Flexible Film Bulk Acoustic Resonator Based on β-Phase Polyvinylidene Fluoride Polymer », Sensors, vol. 20, no 5, p. 1346, février 2020.

[16]K. Magniez, A. Krajewski, M. Neuenhofer et R. Helmer, « Effect of drawing on the molecular orientation and polymorphism of melt-spun polyvinylidene fluoride fibers: Towards the development of piezoelectric force sensors », *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 129, no 5, p. 2699-2706, septembre 2013.

[17]E. Nilsson, A. Lund, C. Jonasson, C. Johansson et B. Hagström, « Poling and characterization of piezoelectric polymer fibers for use in textile sensors », *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 201, p. 477 à 486, octobre 2013.

[18]H. Shao, J. Fang, H. Wang, C. Lang, G. Yan et T. Lin, « Mechanical Energy-to-Electricity Conversion of Electron/Hole-Transfer Agent-Doped Poly(Vinylidene Fluoride) Nanofiber Webs », *Macromol. Mater. Eng.*, p. 1600451, février 2017.

[19]S. Anand, N. Soin, T. H. Shah et E. Siores, « Energy harvesting '3-D knitted spacer' based piezoelectric textiles », *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Ég.*, vol. 141, p. 012001, juil. 2016.

[20]C. Li, R. Cao et X. Zhang, « Respirable Materials for Triboelectric Effect-Based Wearable Electronics », *Appl. Sci.*, vol. 8, no 12, p. 2485, déc. 2018.

[21]N. Cui, J. Liu, L. Gu, S. Bai, X. Chen et Y. Qin, « Wearable Triboelectric Generator for Powering the Portable Electronic Devices », *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 7, no 33, p. 18225-18230, août 2015.

[22]A. Yu *et al.*, « Core–Shell-Yarn-Based Triboelectric Nanogenerator Textiles as Power Cloths », *ACS Nano*, vol. 11, no 12, p. 12764-12771, décembre 2017.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

[23]R. Cao *et al.*, « Screen-Printed Washable Electronic Textiles as Self-Powered Touch/Gesture Tribo-Sensors for Intelligent Human-Machine Interaction », *ACS Nano*,vol. 12, no 6, pp. 5190-5196, juin 2018.

[24]Y. Jia, Z.-D. Lu, L.-Z. Li, et Z. Wu, « A Review of Applications and Research of Shape Memory Alloys in Civil Engineering », *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Ég.*, vol. 392, p. 022009, août 2018.

[25]J. Seo, Y. Kim et J. Hu, « Pilot Study for Investigating the Cyclic Behavior of Slit Damper Systems with Recentering Shape Memory Alloy (SMA) Bending Bars Used for Seismic Restrainers », *Appl. Sci.*, vol. 5, no 3, p. 187-208, juil. 2015.

[26]L. Heller, K. Janouchová, P. Šittner et D. Vokoun, « Functional textiles driven by transforming NiTi wires », *MATEC Web Conf.*, vol. 33, p. 03010, déc. 2015.

[27]Cohades et V. Michaud, « Shape memory alloys in fibre-reinforced polymer composites », *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.*, vol. 1, no 1, p. 66-81, octobre 2018.

[28]G. Bartkowiak, A. Dąbrowska et A. Greszta, « Development of Smart Textile Materials with Shape Memory Alloys for Application in Protective Clothing », *Materials (Bâle).*, vol. 13, no 3, p. 689, février 2020.

[29]Grado Zero Innovation, « Oricalco fabric project », 2001. [En ligne]. Disponible sur : https://www.gzinnovation.eu/material/7/shape-memory-materials [Consulté le : juin 15, 2021].

[30]M. Behl et A. Lendlein, « Polymères à mémoire de forme », *Mater. Today*, vol. 10, no 4, p. 20-28, avril 2007.

[31]Z. Wang, J. Liu, J. Guo, X. Sun et L. Xu, « The Study of Thermal, Mechanical and Shape Memory Properties of Chopped Carbon Fiber-Reinforced TPI Shape Memory Polymer Composites », *Polymers (Bâle).*, vol. 9, no 11, p. 594, novembre 2017.

[32]S. Thakur, « Shape Memory Polymers for Smart Textile Applications », dans *Textiles for Advanced Applications*,InTech, 2017.

[33]« Réseau européen pour relier les efforts de recherche et d'innovation sur les textiles intelligents avancés (CONTEXT) - Action COST CA17107 », 2018. [En ligne]. Disponible sur : https://www.context-cost.eu/ [Consulté le : 15 juin 2021].

[34]L.F. BOESEL *et al.*, « Rapport sur l'état de l'art : textiles intelligents pour les applications des soins de santé et de la médecine (CONTEXT) », 2020.

[35]A. DeVilder, R. Krause, S. Olaru, P. Peer et D. Zavec, « Stat-of-the-art report: Smart textiles for personal protective equipment (CONTEXT) », 2020.

[36]L. Ciobanu, R. Fangueiro, D. Ionesi, A. Mazari et I. Symeonidis, « Rapport sur l'état de l'art : textiles intelligents pour les applications automobiles et aéronautiques (CONTEXT) », 2020.

[37]A. Kazani *et al.*, « Stat-of-the-art report: Smart textiles for sportswear and wearables (CONTEXT) », 2020.

[38]C. Bedon *et coll.*, « Stat-of-the-art report: Smart textiles for building and living (CONTEXT) », 2020.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[39]Global Industry Analysts Inc., « À propos des textiles intelligents - Trajectoire et analyse du marché mondial 2021 », 2021. [En ligne]. Disponible sur : https://www.strategyr.com/market-report-smart-textiles-forecasts-global-industry-analysts-inc.asp. [Consulté : juillet 30, 2021].

[40]T. Tsujioka et M. Irie, « Electrical functions of photochromic molecules », *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rév.*, vol. 11, no 1, p. 1-14, 2010

[41]Flux de photos. *Tissu à fibre optique*. Flickr. En ligne]. Disponible sur : https://www.flickr.com/photos/37996583811@N01/17252720903/in/photostream/ [Consulté : 30 juillet 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Qu'est-ce qu'un textile intelligent ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Un produit textile qui interagit avec son environnement, étant capable de sentir et / ou de répondre aux stimuli environnementaux.
b) Un produit textile qui doit contenir de l'électronique.
c) Un produit textile qui est fabriqué avec des techniques textiles avancées.

Question 2 : Lequel des textiles intelligents suivants est le plus adéquat pour développer un capteur tactile dans la manche d'une veste pour contrôler un téléphone portable ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Un tissu piézoélectrique
b) Un tissu polymère à mémoire de forme
c) Un tissu thermochrome

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 5.4 Textiles de protection avancés (protection biologique, santé et sécurité)

Luminita Ciobanu
TUIASI

1. Textiles pour équipements de protection individuelle

Selon le site de la Commission européenne, les équipements de protection individuelle (EPI) peuvent être définis comme « des produits que l'utilisateur peut porter ou tenir, pour être protégé contre les risques au travail, à la maison ou lors d'activités de loisirs » [*1*].

La figure 1 montre une classification générale des facteurs de risque pour lesquels un EPI est requis, tels que définis par le nouveau règlement UE 2016/425 [*2*]. Les EPI intermédiaires de catégorie II comprennent tous les facteurs de risque non inclus dans les catégories I et III.

PPE risk categories		
	Cat 1. Minimum risk (simple PPE)	superficial mechanical injury
		interaction with hot surfaces which temperature doesn't exceed 50°C
		damage caused to the visual organs as a result of abnormal sunlight exposure
		atmospheric circumstances that are not of an extreme nature.
	Cat. 2. Medium risk (intermediate PPE)	
	Cat. 3. Severe risk (complex PPE)	hazardous substances and mixtures
		environments, where can be observed oxygen deficiency
		harmful biological elements
		high-pressure jets
		drowning
		ionising radiation
		electric shock
		high-temperature environments (+100 °C)
		low-temperature environments (−50 °C or less)
		harmful noise
		falling from a height.

Figure 1. Classification des facteurs de risque de l'EPI

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Une classification générale des EPI doit tenir compte de différents critères :

1) Type d'équipement – vêtements, casques, lunettes, gants, chaussures, etc.
2) Utilisation de l'équipement – travail, activités sportives et récréatives, militaires et policiers, crise de santé publique (épidémies, pandémies)
3) Portée
   a) Protéger le porteur contre les dangers
   b) Protéger les autres personnes contre la transmission (en particulier les dangers biologiques)
   c) Protéger l'environnement de la contamination (salles blanches)
4) Protection du corps
   a) Protection des parties du corps – tête, main/bras, œil et visage, haut du corps, pied/jambe, peau
   b) Protection des fonctions corporelles – respiratoires, voyantes et auditives
5) Type de facteur de risque – physique, chimique, biologique, électrique, thermique, mécanique (voir la figure 1)

2. Textiles pour la protection biologique

Les facteurs de risque biologiques sont définis comme étant un matériel biologique vivant ou mort qui peut avoir des effets nocifs pour les êtres humains ou pour l'environnement. La directive européenne 2000/54/CE [*4*] divise les dangers biologiques (agents pathogènes) en quatre groupes, dont les dangers des groupes 3 et 4 peuvent gravement affecter la santé des personnes. Ce ne sont pas seulement les travailleurs de la santé qui sont exposés à des risques biologiques, mais aussi les travailleurs d'autres secteurs, tels que les chercheurs travaillant avec des agents pathogènes, l'industrie pharmaceutique, les usines alimentaires, les usines agricoles et d'élimination des déchets (usines de traitement et de tri des déchets), les installations d'épuration des eaux usées, etc. Pour l'environnement de travail, les EPI pour la protection biologique chevauchent les EPI pour la protection chimique. Les risques biologiques sont également spécifiques aux activités militaires, en temps de guerre ou en actes de terrorisme biologique. Ils constituent une menace pour la santé publique en cas d'épidémies et de pandémies.

Bien sûr, les risques biologiques sont plus fréquents dans les activités médicales, où le risque d'infection par différents agents pathogènes (comme les virus, les bactéries, les champignons) ou de transmission de / vers les patients est très élevé. Les pandémies actuelles de COVID-19 soulignent ces risques et l'importance d'un EPI approprié et efficace.

Le type d'EPI à utiliser dans des environnements potentiellement contaminés dépend des caractéristiques des agents pathogènes : type de transmission (transmission par voie aérienne,

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

transmission par gouttelettes, contact physique direct, contact physique indirect, transmission fécale-orale), dose infectieuse, stabilité environnementale, conséquences de l'exposition et/ou de la libération, et disponibilité de vaccins ou de prophylaxie.

2.1. Protection respiratoire

Étant entendu que la transmission par voie aérienne et la transmission d'agents infectieux sont courantes dans les établissements médicaux, ainsi que parmi la population, la protection respiratoire est une préoccupation majeure. La protection respiratoire est également importante dans les environnements de travail où les particules et/ou les produits chimiques sont dangereux pour les travailleurs.

2.1.1. Masques faciaux médicaux

La norme EN 14683:2019+AC définit les masques faciaux comme « des dispositifs médicaux couvrant la bouche et le nez fournissant une barrière afin de minimiser la transmission directe d'agents infectieux entre le personnel et le patient ». Il existe deux types de masques faciaux médicaux (type I et type II) en fonction de l'efficacité de la filtration bactérienne, le type II ainsi divisé selon que le masque est résistant ou non aux éclaboussures dans le type II et IIR. Les masques faciaux médicaux de type I ne doivent être utilisés que pour les patients et les autres personnes afin de réduire le risque de propagation des infections, en particulier dans les situations épidémiques ou pandémiques, tandis que les masques de type II et IIR doivent être utilisés par le personnel médical (y compris dans les blocs opératoires). Le tableau 1 donne les exigences de performance énoncées dans la norme EN 14683:2019+AC. Les caractéristiques les plus importantes sont l'efficacité de la filtration bactérienne (BFE) ainsi que la pression différentielle. L'efficacité de filtration peut également être déterminée pour les virus (VFE).

Tableau 1. Exigences de performance pour les masques faciaux médicaux (EN 14683)

Caractéristiques	Classe de masque		
	I	II	IIR (en)
Efficacité de filtration bactérienne BFE (EN 14683)	≥ 95 %	≥ 98 %	≥ 98 %
Respirabilité - Pression différentielle (Pa/cm$^{2)}$(EN 14683)	< 40 Pa/cm^2	< 40 Pa/cm^2	< 60 Pa/cm^2
Résistance aux éclaboussures (ISO 22609:2004)	Non requis	Non requis	≥ 16,0 kPa
Propreté microbienne (Bioburden) (ISO 11737-1:2018)	≤ 30 ufc/g	≤ 30 ufc/g	≤ 30 ufc/g

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.1.2. Les appareils respiratoires

Les appareils respiratoires sont des dispositifs de protection respiratoires utilisés dans les environnements de travail pour la protection contre différents dangers, y compris la poussière biologique, chimique. Une classification générale des respirateurs [*5, 6*] est présentée dans la figure 2. Pendant les pandémies de COVID, les dispositifs de filtrages contre les particules sont largement utilisés par le personnel médical, ainsi que par l'ensemble de la population, pour prévenir la transmission par voie aérienne et par gouttelettes.

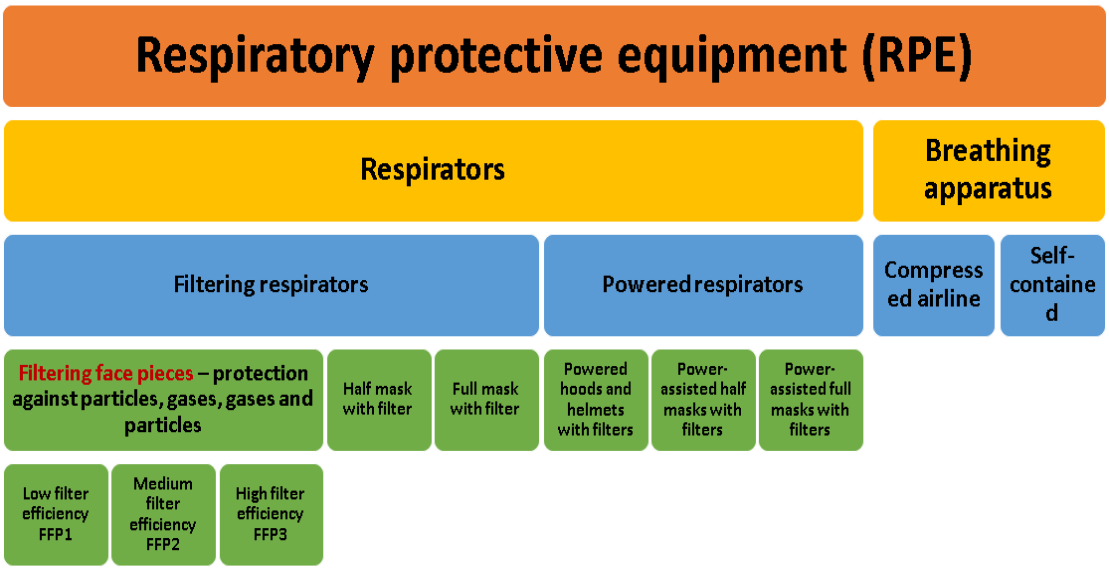


Figure 2. Classification UE des appareils respiratoires

Le niveau de performance des respirateurs filtrants est donné par la norme EN 149:2001+A1:2009, divisant l'efficacité de filtration en trois groupes (P1, P2 et P3). Le tableau 1 présente les exigences de performance des appareils de protection respiratoire contre les particules (les normes les appellent aussi demi-masques filtrants).

Tableau 1. Exigences de performance pour les respirateurs (EN 149)

Test		Caractéristique	Classe de respirateur		
			FFP1	FFP2	FFP3
Fuite	Fuite totale vers l'intérieur		22%	8%	2%
	Pénétration du matériau	Pénétration maximale de l'aérosol d'essai – NaCl, 95 l/min	Max 20%	Max 6%	Max 1%

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

	filtrant (EN 13274-7)	Pénétration maximale de l'aérosol d'essai – huile de paraffine, 95 l/min	Max 20%	Max 6%	Max 1%
Résistance respiratoire		Résistance maximale autorisée (mbar) Inhalation, 30 l/min	0.6	0.7	1.0
		Résistance maximale autorisée (mbar) Inhalation, 95 l/min	2.1	2.4	3.0
		Résistance maximale autorisée (mbar) Expiration, 160l/min	3.0	3.0	3.0
Inflammabilité		Lors de l'essai, le demi-masque filtrant les particules ne doit pas brûler ou ne pas continuer à brûler pendant plus de 5 s après avoir été retiré de la flamme. (ISO 6941)			
Teneur en dioxyde de carbone de l'air d'inhalation		La teneur en dioxyde de carbone de l'air d'inhalation (espace mort) ne doit pas dépasser en moyenne 1,0 % (en volume).			

Remarque : La fuite totale vers l'intérieur (TIL) est une estimation de la performance d'un respirateur, qui est mesurée comme la fuite de contaminants à travers le média filtrant et à travers l'interface d'étanchéité faciale et la valve d'expiration des appareils de protection respiratoire dans des conditions de laboratoire.

2.2 Protection du corps

Outre la protection respiratoire, les activités médicales générales et/ou la présence d'agents infectieux dans l'environnement nécessite une protection corporelle pour prévenir la contamination et/ou la transmission. Les vêtements de protection contre les agents infectieux ont deux fonctions principales : empêcher les agents infectieux d'atteindre la peau (éventuellement blessée) et empêcher la propagation des agents infectieux à d'autres personnes et à d'autres situations.

2.2.1. Blouses médicales

Les blouses médicales sont des vêtements utilisés par le personnel médical dans le cadre de ses activités quotidiennes, y compris dans les endroits où il existe le risque biologique élevé, comme les salles d'opération. Il existe différents types de vêtements médicaux, y compris les blouses chirurgicales (réutilisables) / combinaisons d'air pur, les blouses d'isolement, les blouses chirurgicales et les combinaisons (combinaisons). Dans l'UE, les blouses chirurgicales médicales, ainsi que les rideaux chirurgicaux et les combinaisons d'air pur sont considérés comme des dispositifs médicaux et réglementés par la norme EN 13795. Les caractéristiques normalisées des blouses chirurgicales sont présentées dans le tableau 2. Il différencie les performances standard et les performances hautes, avec des zones critiques et moins critiques.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Tableau 2. Caractéristiques à évaluer et exigences de performance pour les blouses chirurgicales (EN 13795)

Caractéristique	Méthode d'essai	Unité	Performances standard		Haute performance	
			Critique domaine de produits	Domaine de produit moins critique	Critique domaine de produits	Moins critique domaine de produits
Pénétration microbienne — Sèche	EN ISO 22612	UFC	Non requis	≤ 300*	Non requis	≤ 300*
Pénétration microbienne — Humide	EN ISO 22610	I_B	≥ 2,8*	Non requis	6.0*	Non requis
Propreté microbienne / Bioburden	EN ISO 11737-1	UFC/ 100cm^2	≤ 300	≤ 300	≤ 300	≤ 300
Libération de particules	EN ISO 9073-10	log10 (nombre de peluches)	≤ 4.0	≤ 4.0	≤ 4.0	≤ 4.0
Pénétration de liquide	EN ISO 811	cm H_2O	≥ 20	≥ 10	≥ 100	≥ 10
Résistance à l'éclatement Sec	EN ISO 13938-1	kPa	≥ 40	≥ 40	≥ 40	≥ 40
Résistance à l'éclatement humide	EN ISO 13938-1	kPa	≥ 40	Non requis	≥ 40	Non requis
Résistance à la traction Sèche	DANS 29073-3	N	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20
Résistance à la traction Humide	DANS 29073-3	N	≥ 20	Non requis	≥ 20	Non requis

2.2.2. Combinaisons bio/chimiques (combinaisons)

Ces types de vêtements sont inclus dans la classe des EPI chimiques et sont traités comme tels. Ils sont divisés en 6 types selon le niveau de protection, chacun correspondant à un type de danger, tel que présenté dans le tableau 3. Chaque type d'EPI peut être un vêtement complet du corps (B) ou du

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

corps partiel (PB). L'ISO 16602: 2007+A1:2012 Exigences de performance pour les vêtements de protection (types 1 à 6) réglementent les performances de tous les types de vêtements de protection énumérés ci-dessous. Les EPI de type 3 et 4 et plus conviennent mieux à la protection contre les agents infectieux, mais les types 5 et 6 sont également utilisés pour des situations moins dangereuses.

Tableau 3. Classification des EPI biochimiques/chimiques

Type d'EPI	Protection contre	Norme de rendement	Option PB
Type 1	Gaz	EN 943-1:2015 et EN 943-2:2002	Non
Type 2	Liquide	DANS 943-1:2015	Non
Type 3	Jet ou éclaboussure	DANS 14605:2005+A1:2009	Non
Type 4	Pulvérisation ou éclaboussure légère	DANS 14605:2005+A1:2009	Oui
Type 5	Particules solides en suspension dans l'air (poussières)	EN ISO 13982-1:2004 +A1:2010	Non
Type 6	Spray léger	EN 13034:2005+A1:2009	Oui

En termes de protection biologique, tous les types d'EPI biochimiques doivent être considérés avec les exigences de performance pour la protection contre les agents infectieux, illustrées dans le tableau 4 sont réglementés par la norme EN 14126:2003, dans le cadre des exigences relatives aux matériaux (ainsi qu'aux exigences mécaniques et inflammabilité et chimiques), aux coutures, aux joints et assemblages et à l'ensemble de la combinaison. La norme indique 6 niveaux de performance.

Tableau 4. Exigences de performance contre la pénétration par les agents infectieux (EN 14126)

Propriété	Standard	Classes					
		6	5	4	3	2	1
Résistance à la pénétration de liquides contaminés sous pression hydrostatique (Pression hydrostatique, kPa)	ISO/FDIS 16603 et ISO/FDIS 16604	20 kPa	14 kPa	7 kPa	3,5 kPa	1,75 kPa	0 kPa
Résistance à la pénétration par les agents infectieux due au contact mécanique avec des substances	Norme ISO 22610	t > 75	60 < t ≤ 75	45 < t ≤ 60	30 < t ≤ 45	15 < t ≤ 30	t ≤ 15

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

contenant des liquides contaminés (Temps de percée, t, min)							
Résistance à la pénétration par les aérosols liquides contaminés	Norme ISO 22611	Taux de pénétration (log)			log > 5	3 < journal ≤ 5	1 < journa l ≤ 3
Résistance à la pénétration par les particules solides contaminées	Norme ISO 22612	Pénétration (log cfu)			≤ 1	1 < log cfu ≤ 2	2< log cfu ≤ 3

D'autres aspects importants des combinaisons d'EPI pour la protection bio/ chimique sont les coutures utilisées pour créer les vêtements. Les coutures Sergés et liées sont utilisées pour les combinaisons de type 5 et 6, tandis que des coutures plus scellées sont nécessaires pour les types 3 et 4 et supérieurs – cousues et collées ou soudées, pour s'assurer qu'il n'y a pas de pénétration d'un liquide contaminé. La conception générale des costumes doit également prendre en considération des détails tels que les cagoules, les poignets, les bottes, etc.

3. Matières textiles utilisées pour les EPI pour les dangers biologiques

Le type de matière première, le tissu, les traitements de finition/la fonctionnalisation, la structure produit et la technologie d'assemblage dépendent du type d'EPI – jetable ou réutilisable et du type de danger utilisé. Certains matériaux sont brevetés par les entreprises et donc peu d'informations sont disponibles dans leur cas.

Quelle que soit la structure, plusieurs caractéristiques du matériau contrôlent l'efficacité de la filtration biologique [*7*] et doivent être prises en compte lors de la conception de produits de protection respiratoire :

- Au niveau de la fibre – La longueur et la surface de la fibre et la capacité d'absorption des fibres
- Au niveau du fil – La torsion du fil
- Au niveau du matériau – La taille des pores, les caractéristiques de surface, l'épaisseur du tissu, la mèche, la répulsion, les caractéristiques de pénétration/perméabilité

Les non-tissés (liaison thermique, chimique, mécanique) sont les plus adaptés aux produits jetables, car ils sont faciles et bon marché à produire en grande quantité et se caractérisent par une faible

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

porosité. Les fibres de polypropylène (en raison de leur faible pouvoir absorbant/comportement hygroscopique) et les technologies spunbond et spunlace sont les plus couramment utilisées pour produire ces tissus.

Les non-tissés multicouches sont utilisés pour les EPI respiratoires et les vêtements d'EPI antibactériens/viraux. La structure la plus simple est le SPS : une couche externe de spunbond (S), une couche intermédiaire de meltblown (M) et une couche interne de spunbond (S). Ces couches très minces sont en polypropylène, bien que d'autres matières premières soient utilisées dans une moindre mesure. Les couches de spunbond donnent une résistance mécanique, tandis que la couche intermédiaire assure la protection contre les particules, car les couches soufflées par fusion sont faites de nanofibres plus fines et la dimension des pores est plus petite [*8*]. Pour des caractéristiques de filtration accrues, la couche soufflée à l'état fondu est chargée électriquement (traitement Corona). Les traitements de finition peuvent être utilisés pour contrôler les caractéristiques requises pour la protection, telles que l'hydrofugation et la répulsion du sang, la résistance à la pression hydrostatique et l'inflammabilité.

Différentes successions de couches peuvent être utilisées pour développer des tissus multicouches qui répondront aux exigences, telles que SMMS, SSMSS ou SSMMSS. Une couche de carbone peut également être ajoutée pour assurer une efficacité de filtration accrue.

Pour les environnements à forte charge virale, comme pour le personnel médical travaillant avec des patients contagieux, le support non tissé (spunbond) peut être recouvert / laminé d'un film, généralement du polyéthylène (PE) et du PTFE. Les matériaux composites qui en résultent sont imperméables et imperméables aux virus / bactéries, mais présentent de mauvaises caractéristiques de confort. Afin d'améliorer le confort, des membranes microporeuses ont été développées. Ce type de matériaux enduits/stratifiés, développés par différentes entreprises (3M, DuPont, Lakeland, Micrograd, Dereduck, etc.) répondent aux exigences de la norme EN14126.

L'électrofilage a déjà montré un excellent potentiel pour les applications médicales, y compris l'ingénierie tissulaire et la médecine régénérative. Les matériaux électrofilés (électrofilage au solvant) ont été développés en tant que membranes nanofibreuses pour les EPI destinés à la protection biologique avec l'avantage de contrôler la taille des pores et des fibres au niveau nanométrique [*9*]. Ces membranes microporeuses nécessitent un support textile et présentent une excellente efficacité de filtration (en raison de leur rapport surface / volume élevé) et une respirabilité résultant en un confort accru pour les utilisateurs.

Les EPI réutilisables utilisent des tissus tissés serrés en coton, PES ou mélanges coton/PES, car ils doivent résister à plusieurs cycles de lavage.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

4. Fonctionnalisation des textiles pour la protection biologique

Afin d'améliorer leurs caractéristiques antimicrobiennes, tous ces matériaux sont soumis à une fonctionnalisation, comme nous le verrons ci-après. Les traitements antimicrobiens sont courants pour les produits utilisés pour les textiles médicaux, y compris les équipements de protection biologique (vêtements de protection, masques) [10, 11]. Les traitements antimicrobiens devraient également satisfaire aux exigences suivantes [10] : aptitude à la transformation des textiles ; durabilité au lavage, au nettoyage à sec et au pressage à chaud ; être respectueux de l'environnement ; aucune modification de la qualité ou de l'apparence du produit textile. Il existe une large gamme d'agents antimicrobiens, la plupart d'entre eux détruisant les agents pathogènes (biocides), tandis que d'autres inhibent la croissance des micro-organismes (activité bactériostatique). Les principaux groupes d'agents antimicrobiens sont cités ci-dessous dans le tableau 5.

Tableau 5. Principaux agents biocides antimicrobiens utilisés pour les équipements de protection

Agent antimicrobien	Protection contre	Observations
Les composés d'ammonium quaternaire (QAQ) sont des agents cationiques attachables à la surface de la fibre anionique par interaction ionique	Large gamme de bactéries à Gram positif/négatif, de champignons et de certains virus	Perte dans le temps de l'effet biocide dû à l'absence de liaison physique
Le triclosan est un bisphénol chloré synthétique utilisé principalement pour les fibres chimiques.	Large gamme de bactéries à Gram positif/négatif, et certains champignons et virus	Une utilisation à grande échelle pourrait déclencher une résistance aux bactéries; toxicité causée par la conversation photochimique dans les solutions aqueuses
Métaux et sels métalliques à base de très faibles concentrations d'argent (les plus efficaces), de zinc, de cuivre, de cobalt	Large gamme de bactéries Gram positif/négatif	Transformation difficile des textiles; problèmes liés à la durabilité
Le chitosane est un copolymère naturel résultant de la désacétylation de la chitine. Utilisé seul ou avec d'autres agents antimicrobiens (pour augmenter l'efficacité)	Large gamme de bactéries Gram positif/négatif	Mauvaise manipulation; efficacité en fonction du pH et de la température
Les N-halamines sont des composés organiques hétérocycliques	Large spectre de bactéries, de champignons et de virus	Stabilité à long terme et faible coût, possibilité de

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

		recycler constamment leur effet antimicrobien en rechargeant la substance inactive
Les agents naturels sont obtenus à partir de plantes (terpénoïdes, lectines et polypeptides, flavonoïdes, quinones, tanins, coumarines)	Large gamme de bactéries, champignons et virus à Gram positif/négatif	Pas d'effets indésirables, biocompatibilité complète

Il existe actuellement une large gamme de traitements antimicrobiens actuellement développés, présentés schématiquement dans la figure 3, qui peuvent être divisés en déposant des agents antimicrobiens (AG) sur les matériaux (fibres, fils, tissus) et en incorporant l'AG dans la matrice polymère. La greffe de surface est le traitement le plus courant, bien développé pour la fonctionnalisation textile. La greffe induite par plasma est une alternative viable aux problèmes liés au traitement humide utilisé pour la greffe chimique. En ce qui concerne l'incorporation d'AG dans des matrices polymères, il existe déjà un certain nombre de fibres antimicrobiennes sur le marché [10].

HeiQ Viroblock NPJ03 [12] est un exemple d'agent microbien (technologie des particules d'argent et des vésicules) qui inhibe la croissance et la persistance des bactéries et des virus. La technologie des vésicules cible les virus enveloppés de lipides, tels que le coronavirus, offrant une désactivation rapide du virus, tandis que la technologie de l'argent inhibe la réplication des bactéries et des virus. L'agent Viroblock s'est avéré très efficace lorsqu'il est utilisé dans la protection respiratoire contre le SRAS-COV-2.

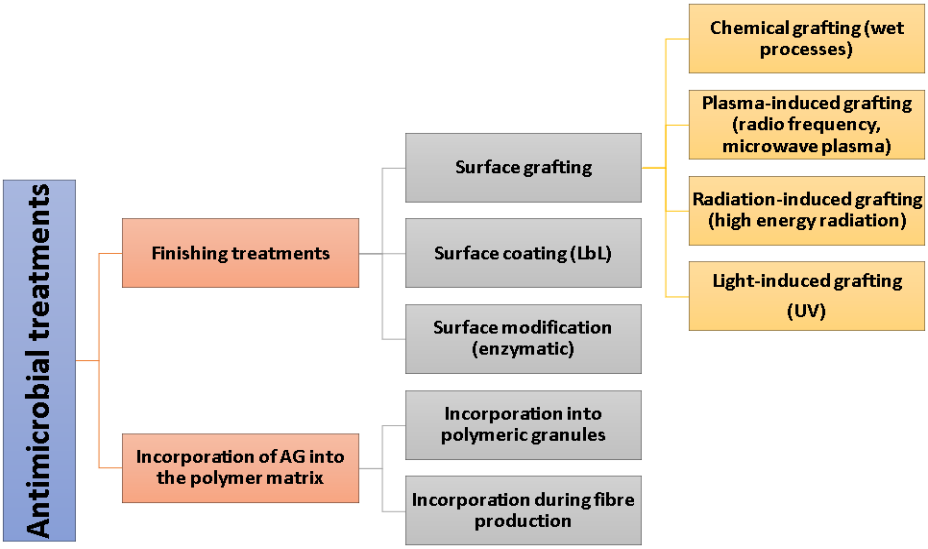


Figure 3. Traitements antimicrobiens des textiles

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

L'utilisation de nanoparticules montre un potentiel intéressant pour les traitements antimicrobiens, car le contrôle des caractéristiques antimicrobiennes et autres peut offrir des propriétés adaptées et uniques. Ce type de membrane est encore en phase de développement, mais leur potentiel de protection respiratoire efficace a été déjà prouvé.

De Sio et al présentent le concept de développement de membranes multicouches avec une capacité d'auto-désinfections déclenchée par la lumière [13]. Les membranes multifonctionnelles sont caractérisées par la présence de nano-amas et de nanoparticules plasmoniques disposées dans une structure hiérarchique. Un autre exemple de membranes nanofibreuses présentant des activités antibactériennes et antivirales rechargeables sous la lumière du jour repose sur l'idée de stocker des espèces réactives de l'oxygène pendant la journée et de les libérer plus tard [14].

Dans un autre exemple, De Mayo et al. [15] démontrent la capacité des nanoparticules bidimensionnelles telles que les nanoplaquettaires de graphène (G) et le dérivé oxyde de graphène (GO) à interagir avec les micro-organismes et à se lier ainsi qu'à l'ARN et à l'ADN avec une applicabilité potentielle dans la protection respiratoire des matériaux en coton et en polyuréthane.

Références

[1] Commission européenne. *Équipement de protection individuelle (EPI)*. [En ligne]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/growth/sectors/mechanical-engineering/personal-protective-equipment_en [Consulté : 21 avril 2021].

[2] Journal officiel de l'Union européenne. (03.31, 2016). *RÈGLEMENT (UE) 2016/425 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 9 mars 2016 relatif aux équipements de protection individuelle et abrogeant la directive 89/686/CEE du Conseil*. [En ligne]. Disponible sur : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0425&from=EN [Consulté : 5 mai 2021].

[3] M. Strålin. (avril 2021). *Directive EPI (UE) 2016/425 dans Détails*. Centre d'aide de Clever Compliance. [En ligne]. Disponible sur : https://support.ce-check.eu/hc/en-us/articles/360008714079-PPE-Directive-EU-2016-425-in-Details [Consulté : 5 mai2021].

[4] Union européenne, *document 32000L0054*, EUR-Lex. [En ligne]. Disponible sur : https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/54/oj [Consulté : mai 29, 2021]

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[5] P. Pietrowski, K. Majchrzycka, *Respiratory protection equipment – requirements and selection*,CONNAISSANCES EN RÉSEAU WIKI SST. [En ligne]. Disponible sur : https://oshwiki.eu/wiki/Respiratory_protection_equipment_%E2%80%93_requirements_and_selection. [Consulté : avril 27, 2021].

[6] C.E. Colton, *Respirator Classification* in Handbook of Respiratory Protection, éditeur LA. Racz et coll., Routledge Handbooks Online, 2017, p. 27-53

[7] F.S. Kilinc, « A Review of Isolation Gowns in Healthcare: Fabric and Gown Properties » *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Volume 10, numéro 3, pp 180 – 190, 2015.

[8] A. Brochocka et coll., « Multifunctional Polymer Composites Produced by Melt-Blown Technique to Use in Filtering Respiratory », Materials, vol. 13, numéro 3, février 2020. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.mdpi.com/1996-1944/13/3/712 [Consulté : Mai 5, 2021].

[9] A. Baji et al., « Emerging Developments in the Use of Electrospun Fibers and Membranes for Protective Clothing Applications » ***Polymers,*** vol. 12, no 2, 492, février 2020. [En ligne] Disponible sur : Polymers | | gratuit en texte intégral Développements émergents dans l'utilisation de fibres et de membranes électropunées pour les applications de vêtements de protection (mdpi.com) [Consulté : mai 25, 2021].

[10] D. Santos Morais et al., « Antimicrobial Approaches for Textiles : From Research to Market » *Materials*, numéro 9, 2016 [En ligne] Disponible sur : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5456784/ [Consulté : mai 11, 2021].

[11] M. Periolatto et coll. Novel Antimicrobial Agents and Processes for Textile Applications in Antibacterial Agents. R. Kumavath. Intechopen [En ligne] Disponible sur : https://www.intechopen.com/books/antibacterial-agents/novel-antimicrobial-agents-and-processes-for-textile-applications [Consulté : mai 5, 2021].

[12] États-Unis 2010/0137437 A1. *Composition pour inactiver un virus enveloppé* [En ligne]. Disponible sur : https://patentimages.storage.googleapis.com/e2/09/fe/9dcc15e2e5c969/US20100137437A1.pdf [Consulté : mai 21, 2021]

[13] L. de Sio et al., « Personalized Reusable Face Masks with Smart Nano-Assisted Destruction of Pathogens for COVID-19: A Visionary Road », *Chemistry Europe*, 27, pp. 6112-6130 [En ligne] Disponible sur : https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/chem.202004875 [Consulté : mai 21, 2021].

[14] F. de Mayo et coll. « Graphene nanoplatelet and Graphene oxide functionalization of face mask materials inhibits infectivity of trapped SARS-CoV-2 » *MedRxiv the preprint server for health sciences*.

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[En ligne] Disponible sur : https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.09.16.20194316v2.full [Consulté le : mai 21, 2021].

[15] Y. Si et coll. « Daylight-driven rechargeable antibacterial and antiviral nanofibrous membranes for bioprotective applications », ***Science Advances,***vol. 4, no 3, mars 2018. [En ligne] Disponible sur : https://advances.sciencemag.org/content/4/3/eaar5931 [Consulté le : mai 21, 2021].

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Quelles sont les caractéristiques dans l'évaluation de la performance des masques faciaux médicaux ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Efficacité du filtrage bactérien et respirabilité-pression différentielle

b) Résistance aux éclaboussures

c) Propreté microbienne

Question 2 : Qu'est-ce qu'un matériel SMS ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) SMS est un matériau à 3 couches, une couche intérieure et extérieure faite de non-tissé spundbond et d'une couche intermédiaire soufflée à l'état fondu

b) SMS est spunlace non tissé

c) SMS est un tissu tissé serré

Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication ne reflète que le point de vue de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Unité 6 Gestion et marketing actuels des industries T&C dans un environnement mondial

Traduit par :

Marianna Maglara Morneau (CEDECS-TCBL) (6.4)
Wissem Cheikhrouhou, Mohamed Koubaa, Noura Rmili (CRNS) (6.1, 6.2, 6.3)

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Sommaire

Sommaire 372

Cours 6.1. Opportunités de marché en Afrique et aux États-Unis 376

1. Introduction générale sur les opportunités du marché du textile et de l'habillement dans le monde 376

1.1. Quelques tendances clés 376

2. Focus sur les perspectives économiques en Afrique 377

2.1. Aperçu général du secteur textile en Afrique 377

2.2. Focus sur Ghana 378

2.3. Focus sur l'Ethiopie 379

3. Pénétration du marché américain 380

3.1. Aperçu du marché 380

3.2. Principales tendances du marché 380

3.3. Approche préliminaire du marché américain 381

3.4. Facteurs clés de succès 382

3.5. Principales caractéristiques des circuits d'importation, de distribution et de vente 383

4. Références 384

Questions pour l'évaluation du cours 385

Cours 6.2 Concurrence dans un environnement mondialisé 386

1.1. Compétitivité et innovation 386

1.1. Compétitivité et compétitivité durable 386

1.2. L'innovation comme moteur pour être compétitif dans la mondialisation 387

Définition de l'innovation [3] 387

Les principales caractéristiques de l'innovation 388

Connaissance 388

Nouveauté par rapport aux utilisations potentielles 388

Mise en œuvre et utilisation réelle 388

La création de valeur 389

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Besoins des utilisateurs et pertinence des données statistiques sur l'innovation 389
Types d'innovation par objet : innovations de produit et de processus métier 389
Innovation du produit 389
Innovation de processus d'affaires 390
2. Compétition dans le secteur textile 390
2.1. L'impact de la mondialisation sur la production textile et vestimentaire 390
2.2. Le défi du futur : passer à un système de production et de consommation circulaire pour le textile 392
Points clés pour la production circulaire 392
Choix des matériaux 392
Design 393
Étapes de production et de distribution 394
Etape d'utilisation 394
Étapes de collecte, de recyclage et de traitement des déchets 394
Références 395
Questions pour l'évaluation du cours 397
Cours 6.3 Logistique et gestion de la chaîne d'approvisionnement 398
1. Introduction à la logistique 398
1.1. Le flux de matières et le flux d'informations 398
1.2. Flux de trésorerie et autres flux de ressources 398
2. Gestion de la chaîne d'approvisionnement 399
2.1. Parties de la gestion de la chaîne d'approvisionnement 399
2.2. Éléments essentiels de SCM 400
3. Logistique internationale et configuration CA 401
3.1. Optimisation CA internationale 402
4. Gestion durable de la chaîne d'approvisionnement - GDCA 403
4.1. Défis en matière de durabilité 403
4.2. Vue basée sur les ressources naturelles (VBRN) 404
5. Industrie du textile et de l'habillement en Tunisie 405

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

5.1. Gestion de la chaîne d'approvisionnement : industrie tunisienne du textile et de l'habillement 407
Références 408
Questions pour l'évaluation du cours 410
Cours 6.4 Chaînes de Valeur T&C et Marchés de Créneaux 411
Introduction 411
1. Comprendre les chaînes de valeur de l'industrie T&C 411
1.1. Chaîne de valeur de l'industrie du textile et de l'habillement 412
1.2. Enjeux majeurs de la chaîne de valeur T&C : pollution, émissions de C02, déchets chimiques et textiles, questions relatives aux droits de l'homme 413
1.3. Impact de la mondialisation sur les chaînes de valeur en Europe et en Tunisie 414
1.4. Reconstruire une chaîne de valeur : analyse de rentabilisation du coton grec 415
1.5. D'une industrie linéaire à une industrie circulaire : vers des chaînes de valeur T&C circulaire 416
1.6. Complexité et opacité dans les chaînes d'approvisionnement et les réponses blockchain 417
1.7. L'avenir de la chaîne de valeur dans la perspective de l'Industrie 418
1.8. Autres innovations et tendances modifiant la chaîne de valeur T&C 420
1.9. Exemples d'applications informatiques innovantes dans la chaîne de valeur T&C: 421
Transfert d'informations numériques 421
Fabrication intelligente 421
Automatisation de la chaîne d'approvisionnement 421
Technologie portable 422
Méthodologie de la chaîne d'approvisionnement agile 422
Création de communauté et réseaux sociaux 422
Amélioration des capacités grâce au cloud 423
1.10. Conclusion sur les chaînes de valeur 423
2. Les marchés de niche : une base pour les stratégies d'opportunité et l'innovation 424
2.1. Définition 424
2.2. Approche marketing de créneaux spécifique de Parrish pour l'industrie du textile et de l'habillement 426
2.3. Pourquoi les créneaux sont-ils attrayants ? 426

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.4. Un bon créneau ? Lignes directrices pour créer une niche. 427

2.5. Histoires de réussite de la stratégie de niche dans l'industrie du textile et de l'habillement 428

Une réussite en marketing poussé 428

Une réussite du marketing tiré 429

2.6. Conclusion sur les stratégies de niche 429

3. Conclusion 430

Références 430

Questions pour l'évaluation du cours 432

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 6.1. Opportunités de marché en Afrique et aux États-Unis

Matteo Paradisi
CIAPE

1. Introduction générale sur les opportunités du marché du textile et de l'habillement dans le monde

1.1. Quelques tendances clés

On s'attend à ce que la demande de produits textiles augmente au cours des prochaines années [1] grâce à :

- Augmentation des revenus
- Augmentation de la population et de l'urbanisation dans les marchés émergents [2] (Chine, Inde, exc.)
- Le nombre croissant de points de vente et de supermarchés permettra une disponibilité aisée des produits vestimentaires pour les clients.

Tous ces moteurs conduiront à une croissance du marché du textile et de l'habillement dans les prochaines années

Quelques tendances clés

Le textile technique devrait devenir un produit majeur dans l'ensemble du secteur textile ainsi que dans l'industrie des matériaux de pointe en raison de son champ d'application en croissance rapide dans divers secteurs d'utilisation finale, en particulier l'automobile et la construction

L'expansion rapide du secteur textile en raison de la pénétration croissante des produits textiles dans une plus large gamme d'applications conduit les acteurs mondiaux à s'intégrer à travers la chaîne de valeur dans les deux sens, couvrant la production de l'étape des matériaux précurseurs jusqu'à la distribution des produits finaux

L'impact de COVID-19 a gravement affecté l'industrie textile, tant du côté de la demande que de l'offre. La production a été affectée en raison de la perturbation de la chaîne d'approvisionnement mondiale, tandis que d'autre part, la demande est affectée en raison de la crise économique à travers le monde.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2. Focus sur les perspectives économiques en Afrique

2.1. Aperçu général du secteur textile en Afrique

Le secteur du textile et de la mode connaîtra une croissance généralisée en Afrique, tant en termes de consommation que de production [3]. En ce qui concerne ce dernier aspect, de nombreux pays africains adoptent aujourd'hui des politiques de création de quartiers qui offrent des avantages compétitifs par rapport à d'autres régions du monde, en raison à la fois du coût de la main-d'œuvre le plus bas offert à l'échelle internationale par le continent africain, à la fois pour le besoin de plus en plus important de diversifier les chaînes de production (également à la lumière du Covid-19).

La croissance démographique impétueuse du continent signifie que des millions de personnes entrent chaque année sur le marché du travail et que les gouvernements deviennent une priorité pour répondre à l'offre croissante d'emplois. Le textile fait partie des secteurs de production identifiés par les gouvernements africains comme les meilleurs pour le ratio d'absorption main-d'œuvre/spécialisation [4]. Un autre élément avantageux, à la lumière des tensions commerciales qui sont apparues ces dernières années et qui semblent être les seuls dans les prochaines années à s'accroître, est le fait que presque tous les pays africains bénéficient d'accords préférentiels pour les exportations vers des marchés importants, tels que le États-Unis et UE [5]. Même en tant que marché à moyen-long terme, l'Afrique va se développer de plus en plus, parallèlement à sa croissance économique (elle est depuis 15 ans la deuxième région de la planète en termes de croissance économique après l'Asie) et à la montée en puissance de la classe moyenne.

Le marché africain des produits de luxe [6], bien qu'encore relativement petit, est l'un des plus en croissance au niveau mondial, même si les citoyens africains les plus aisés préfèrent faire leurs achats à l'étranger (à Dubaï, New York ou dans les grandes capitales européennes). Deux grandes tendances ont émergé et sont largement en marche pour le moyen-haut de gamme du marché africain : la vente en ligne et les centres commerciaux. La grande distribution se concentre pour l'instant essentiellement sur l'alimentaire, mais dans certains pays l'offre textile s'aligne de plus en plus sur les standards internationaux. Pour les segments moyen-bas du marché (numériquement prépondérants) les produits chinois à faible coût d'importation et de seconde vie utilisés dans l'habillement dominent le marché.

Cependant, ce sont des tendances qui vont s'épuiser :

Les gouvernements visent à soutenir l'industrialisation et la production locales, en luttant de plus en plus contre les processus d'importation ;

Les gouvernements africains luttent contre l'importation de vêtements usagés.

Éléments supplémentaires de relance :

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'Afrique devient à la mode et tendance dans le style ;

L'Afrique progresse de plus en plus en production biologique et en production durable ;

Dans l'avenir, le choc pandémique pourrait agir comme un accélérateur progressif du déplacement du centre de gravité des chaînes de valeur mondiales vers l'Afrique, bénéficiant de la bonne dynamique démographique et du développement infrastructurel d'une partie du continent.

Au sein de ces tendances générales, deux pays ont été identifiés qui se distinguent traditionnellement: le Ghana et l'Éthiopie.

2.2. Focus sur Ghana

C'est un marché à un stade précoce, mais avec des opportunités intéressantes. Le Ghana est l'un des pays avec la plus grande stabilité politique du continent et détient depuis des années le meilleur classement « Doing Business » de toute l'Afrique de l'Ouest. Les derniers gouvernements poussent constamment en faveur d'une profonde diversification économique et d'une croissance de l'industrialisation. Le Ghana joue également un rôle crucial dans les processus d'intégration régionale de l'Afrique de l'Ouest et c'est peut-être la principale porte d'entrée de la région, avec ses 350 millions d'habitants. Ici, le secteur manufacturier est en plein essor. De plus, l'AfCFTA contribue à réduire les tensions entre le Ghana et le Nigeria voisin et cela pourrait ouvrir des espaces pour entrer sur le marché nigérian.

Mode & Textile est un marché en phase initiale. Actuellement ce secteur voit la présence prépondérante de l'informel tant dans la production que dans la consommation, mais le Pays présente des perspectives à moyen-long terme très intéressantes dans les deux. En ce qui concerne la production, le Ghana peut compter sur la présence de matières premières importantes telles que le coton, le cuir (bien qu'actuellement elles ne soient pas bien valorisées).

En ce qui concerne les fibres et les tissus, ils ont été relancés par des particuliers ou par le gouvernement à travers certaines initiatives telles que l'amélioration du groupe Volta Textiles ou l'African European Textiles. Concernant l'emballage au Ghana nous avons la prépondérance de la production artisanale / locale. Parlant de niveau de production industrielle, il met en évidence l'avantage de bénéficier d'un meilleur positionnement sur le marché local, mais il se démarque également d'une concurrence féroce sur les segments à faible coût.

Les débouchés pour l'industrie textile sont assurément une chance de viser un marché régional porteur, mais aussi les lignes d'accès préférentiel et hors taxes à certains marchés importants ; tout d'abord les États-Unis grâce à la Loi sur la croissance et les opportunités en Afrique « African Growth and Opportunity Act » (AGOA). A l'inverse, les risques liés au secteur sont représentés par une

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

mauvaise formation technique du personnel local, la mise à niveau technologique, y compris les besoins d'assurer des contrôles de qualité adéquats.

En termes d'offre technologique, le principal marché est représenté par des machines bon marché en provenance de Chine et d'Inde. Le marché local se tourne vers les niveaux inférieurs de l'industrie en se concentrant sur les produits bon marché en provenance d'Asie ou sur le marché de l'occasion, tandis que les segments supérieurs préfèrent faire leurs courses dans les grandes capitales européennes ou internationales.

2.3. Focus sur l'Ethiopie

Avec plus de 100 millions d'habitants et un taux de croissance démographique parmi les dix premiers États du monde, l'Éthiopie est l'un des plus grands pays d'Afrique en nombre d'habitants. De plus elle bénéficie d'une population jeune, d'un revenu pro habitant en forte croissance, d'un faible coût du travail et d'une position géographique stratégique.

L'enjeu pour le pays sera de continuer sur la voie de la croissance rapide enregistrée au cours de la dernière décennie suivant un modèle de développement différent, capable de stimuler la compétitivité de l'économie en privilégiant l'initiative privée. Le plan prévoit une industrialisation rapide et une transformation structurelle de l'économie éthiopienne qui en fait une plaque tournante mondiale de l'industrie et de la fabrication. Parcs industriels et zones franches pour attirer les investisseurs et créer les soi-disant chaînes de valeur et se concentrer sur les exportations. D'autre part, la nouvelle administration vise à ouvrir (progressivement) l'économie nationale (jusqu'ici très liée aux entreprises nationales publiques ou parapubliques) au marché international. Le secteur textile a été identifié comme une priorité par le gouvernement. L'Éthiopie est un pays prometteur pour l'avenir de la production de vêtements, compte tenu du jeune âge de sa population (110 millions d'habitants), de solides perspectives de croissance, de coûts de main-d'œuvre bon marché et de conditions préférentielles dans les échanges avec les États-Unis et l'Union européenne.

Les investissements directs étrangers dans le secteur du textile et de l'habillement sont en croissance, ainsi que les exportations. Les entreprises voient en l'Éthiopie une nouvelle destination potentielle à faible coût d'approvisionnement où la production peut être réglée conformément aux normes internationales. Le pays, la région et l'ensemble du continent représentent le futur marché d'expansion de la consommation.

Cependant, le pays présente également des défis, tant en termes de durabilité commerciale qu'en termes de durabilité environnementale. Le coton, les tissus et les accessoires doivent être importés et la réglementation sur l'import-export n'est pas toujours simple à comprendre. Des problèmes de logistique, des travailleurs relativement peu qualifiés pourraient entraîner des produits de mauvaise qualité et des délais de livraison longs.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3. Pénétration du marché américain

3.1. Aperçu du marché

L'industrie textile en Amérique du Nord devrait croître à un TCAC de 3,21 % au cours de la période de prévision 2019-2024.

- Les États-Unis sont un marché important dans l'industrie textile nord-américaine. L'Amérique du Nord dans son ensemble représentait plus de 41 % des exportations de l'industrie textile mondiale en 2018. L'industrie des textiles techniques en Amérique du Nord est l'une des plus importantes au monde.
- Les accords commerciaux, en particulier l'ALENA et les accords CBI, ont entraîné une révision des stratégies commerciales. L'ALENA (Accord de libre-échange nord-américain) est le plus important et concerne principalement le Mexique, le Canada et les États-Unis.
- La CBI (Caribbean Basin Initiative) implique plus d'une douzaine de pays voisins et permet aux textiles ou composants américains d'être expédiés pour la couture et la fabrication et renvoyés avec des droits uniquement sur la valeur ajoutée.

3.2. Principales tendances du marché

Industrie textile technique en Amérique du Nord

- L'industrie des textiles techniques en Amérique du Nord est l'un des plus grands marchés au monde. Les tissus non tissés devraient principalement stimuler le marché du textile au cours de la période de prévision.
- Les marchés d'utilisation finale des textiles non tissés sont classés comme jetables ou durables. Les marchés d'utilisation finale jetables sont constitués de catégories de produits telles que l'hygiène absorbante, les lingettes, la filtration, les vêtements médicaux et chirurgicaux et de protection, tandis que les marchés d'utilisation finale durables comprennent les géosynthétiques, l'ameublement de maison et de bureau, le transport, la construction de bâtiments, et autres biens durables.
- Les non-tissés sont utilisés pour fabriquer des produits plus légers, plus efficaces et plus rentables. De plus en plus de ces tissus non tissés plus légers et durables sont introduits dans une variété de domaines, y compris l'emballage et l'automobile.
- Les tissus spécialisés et industriels desservent un éventail de marchés, allant des auvents aux airbags automobiles. Alors que l'activité de tissus spécialisés aux États-Unis a continué de croître, certains domaines connaissent des progrès rapides, par exemple, le tissu de base utilisé dans la construction de routes, le contrôle de l'érosion et le confinement des déblais

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

dans les décharges. Les textiles automobiles représentent le marché mondial le plus précieux pour les textiles industriels.

- En outre, les textiles médicaux sont l'un des domaines les plus importants, en constante expansion et en croissance, des textiles techniques. L'industrie du textile médical améliore les produits existants et en crée de nouveaux avec de nouveaux matériaux et des conceptions innovantes. Certains de ces nouveaux produits sont conçus pour des procédures chirurgicales moins invasives, le contrôle des infections et une cicatrisation accélérée.

Expansion de l'industrie textile des États-Unis

- La chaîne d'approvisionnement de l'industrie textile américaine - des fibres textiles aux vêtements et autres produits cousus - employait 594 147 travailleurs en 2018. Le gouvernement américain estime qu'un emploi dans la fabrication de textiles dans ce pays soutient trois autres emplois.
- Les expéditions américaines de textiles et de vêtements ont totalisé 77 milliards USD en 2018 et c'est le quatrième plus grand exportateur de produits liés au textile au monde. Les exportations combinées de fibres, de textiles et de vêtements s'élevaient à 30 milliards USD en 2018.
- Hors coton brut et laine, la moitié des exportations de la chaîne d'approvisionnement textile des États-Unis sont allées à nos partenaires de libre-échange de l'hémisphère occidental en 2018. L'ensemble de la chaîne d'approvisionnement textile des États-Unis a exporté vers plus de 200 pays, dont 27 pays ont importé plus de 100 millions de dollars.
- Les États-Unis sont le leader mondial de la recherche et du développement textile, le complexe textile américain développant des matériaux textiles de nouvelle génération tels que le tissu conducteur aux propriétés antistatiques, les textiles électroniques capables de surveiller la fréquence cardiaque et d'autres signes vitaux, les fibres antimicrobiennes, le corps qui sauve des vies une armure et de nouveaux tissus qui s'adaptent au climat pour rendre le porteur plus chaud ou plus frais.
- L'industrie textile américaine a investi environ 23 milliards USD dans de nouvelles usines et équipements entre 2006 et 2017. Récemment, les fabricants américains ont ouvert de nouvelles installations tout au long de la chaîne de production textile, y compris des installations de recyclage pour convertir les textiles et autres déchets en nouvelles utilisations textiles et en résines. Les usines textiles américaines ont augmenté la productivité du travail de 60 % au cours des deux dernières décennies.

3.3. Approche préliminaire du marché américain

Les États-Unis sont un marché vaste, complexe et hautement concurrentiel, très différent des autres marchés. Il est donc très important de ne pas sous-estimer cette diversité en termes d'habitudes

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

commerciales, de goûts et de style. Les succès et expériences acquis dans d'autres pays ne garantissent pas des résultats similaires aux USA. Réussir sur le marché américain demande de la planification, de la patience, de la recherche et de la gestion continue, des ressources et des compétences indispensables pour accéder au marché et consolider la position. Aspects préliminaires à prendre en compte :

- Analyse préliminaire approfondie
- Langue Anglaise
- Expérience à l'exportation
- Norme technique, certification
- Connaissance des entreprises locales
- Habitudes des consommateurs
- Logistique : délais de livraison
- Assistance après-vente
- Réseaux sociaux et communication digitale
- Stratégies marketing
- Narration
- Supervision directe du marché avec une présence continue
- Approche à long terme

3.4. Facteurs clés de succès

Les facteurs clés de succès peuvent être résumés dans la qualité, le coût, le temps, la flexibilité, l'emplacement, la réputation et la recherche.

- Qualité : Aux États-Unis, les produits de qualité sont désormais considérés comme la norme. Les clients ne toléreront pas les vêtements faits de matériaux pauvres, qui se cassent facilement ou qui ne résistent pas à l'épreuve du temps.
- Coût : compte tenu du grand nombre de fournisseurs dans le monde qui se font concurrence pour atteindre les clients américains, avoir des prix compétitifs est également très important. C'est certainement un problème pour les entreprises manufacturières qui ont un coût de main-d'œuvre élevé et qui produisent des biens d'un niveau de qualité similaire à celui offert par les pays qui bénéficient de faibles coûts de main-d'œuvre.
- Timing : le facteur temps consiste en la capacité à exécuter rapidement une commande, à livrer dans les délais et à pouvoir introduire de nouveaux produits en fonction des demandes des clients. Les styles et les tendances changent rapidement et les distributeurs aux États-Unis demandent une grande réactivité pour pouvoir répondre à cette demande.
- Flexibilité : pour répondre à ces besoins, la flexibilité du client à réagir rapidement à l'évolution des besoins des consommateurs joue un rôle important.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Localisation : le facteur de localisation consiste à être un pays voisin. Ce facteur pourrait affecter à la fois les économies de coûts (coûts de transport et tarifs inférieurs) et de temps.
- Réputation : accompagner le commerce avec un service après-vente est certainement une qualité que le marché américain (extrêmement orienté service client) apprécie. Les détaillants attendent de leurs fournisseurs qu'ils leur offrent un haut niveau de professionnalisme. Dans le cas où ce professionnalisme ne serait pas trouvé, ils chercheront facilement dans une autre direction.
- Recherche : peut-être que l'aspect le plus important est précisément celui de rechercher soigneusement quel marché cibler, avec ses besoins connexes. La recherche de distributeurs potentiels avant d'entrer sur le marché est également essentielle.

3.5. Principales caractéristiques des circuits d'importation, de distribution et de vente

- Acheteur : ressource au sein d'une société de distribution chargée de l'acquisition de biens et services indispensables à l'activité commerciale
- Participation à des salons spécialisés : c'est un moyen efficace d'aborder le marché pour acquérir de nouveaux contacts ou consolider la présence dans les rendez-vous importants pour le secteur de référence
- Agents/courtiers : un agent ou un courtier dispose de pouvoirs de représentation et assure la promotion du produit en facilitant la stipulation de contrats de vente avec des distributeurs locaux ou des acheteurs finaux
- Coentreprise : la création d'une joint-venture a l'avantage de s'appuyer sur la connaissance marché et marketing d'un partenaire américain
- Licenciements : l'entreprise étrangère accorde à une entreprise locale une licence pour l'utilisation de ses marques, brevets et savoir-faire technologique, en échange de redevances et/ou d'autres avantages financiers
- E-commerce : permet d'entrer en contact direct avec le consommateur final. Tout en évitant la chaîne de distribution traditionnelle, les économies sur les coûts traditionnels sont généralement réduites. D'un autre côté, il y a une augmentation des coûts liés aux solutions de marketing numérique et de logistique à la visibilité et à la capacité d'atteindre le client en garantissant des normes de qualité élevées dans le service. Des investissements fondamentaux dans des compétences spécifiques sont nécessaires par rapport au commerce traditionnel
- Les chaines de vente TV : leur utilisation est pertinente dans la stratégie commerciale des moyennes-grandes entreprises peu implantées sur le marché. C'est un moyen très stratégique d'atteindre de nombreux acheteurs
- La franchise : c'est un canal qui peut permettre une croissance rapide du marché mais il faut investir en termes de temps et avoir une marque déjà connue à l'international
- Contrats publics : chaque état, comté et municipalité de taille différente a des contrats publics

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] Grand View Research. *News from the book Textile Market Size, Share & Trends Analysis Report By Raw Material (Wool, Chemical, Silk), By Product (Natural Fibers, Polyester), By Application (Household, Technical), By Region, And Segment Forecasts, 2021 – 2028*. Grandviewresearch.com. [Online] Disponible sur : https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/textile-market [Consulté le : Mai 27.2021].

[2] OECD (2020), "Business Insights on Emerging Markets 2020", OECD Emerging Markets Network, OECD Development Centre, Paris. [Online]. Disponible sur : http://www.oecd.org/dev/oecdemnet.htm [Consulté le : Mai 27.2021].

[3] Servizi. *E-AFRICA Business Lab*. ITA Italian Trade Agency. [Online] Disponible sur : http://www.exportraining.ice.it/it/attivita-e-servizi/lista-corsi/369-africa-business-lab.html [Consulté le : Mai 27.2021].

[4] Groupe de La Banque Africaine De Développement (2018.08.22) Textile and Clothing industries can drive Africa's industrialization, benefit women. Afdb.org. [Online] Disponible sur : https://www.afdb.org/fr/news-and-events/textile-and-clothing-industries-can-drive-africas-industrialization-benefit-women-18427 [Consulté le : Mai 25.2021].

[5] USAID East Africa Trade and Investment Hub. Overview of the Cotton, Textile and Apparel Sectors in East Africa Region (Kenya, Uganda, Tanzania, Ethiopia, Madagascar and Mauritius) and Benchmarking with Sri Lanka and Bangladesh. February 2018

[6] McKinsey & Company. The State of Fashion 2019 – The Business of Fashion and McKinsey & Company, 2019

[7] Mordor Intelligence. News from the book North America Textile Industry – Growth, trends, covid-19 impact and forecast (2021-2026). Mordorintellegence.com. [Online]. Disponible sur : https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/north-america-textile-industry---growth-trends-and-forecast-2019-2024 [Consulté le : Mai 27.2021]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Quelles sont les deux tendances émergentes pour le moyen-haut de gamme du marché africain ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Ventes en ligne et centres commerciaux

b) Ventes en ligne et vêtements d'occasion

c) Vêtements d'occasion et centres commerciaux

Question 2 : Veuillez identifier les facteurs clés de succès sur le marché américain

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Qualité, coût, temps, flexibilité, emplacement, réputation et recherche

b) Qualité, coût, temps, emplacement et recherche

c) Qualité, coût, normalisation, emplacement, réputation et recherche

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 6.2 Concurrence dans un environnement mondialisé

Matteo Paradisi
CIAPE

1.1. Compétitivité et innovation

1.1. Compétitivité et compétitivité durable

Récemment, en raison de la concurrence qui s'intensifie sur les marchés régionaux et sur le marché mondial également, le concept de compétitivité [1] a attiré une attention particulière des scientifiques et des économistes. Le concept de compétitivité est utilisé dans les sociétés politiques et scientifiques ; c'est pourquoi il a beaucoup de significations.

Le concept de compétitivité dans les littératures a été bien expliqué par de nombreux auteurs et dans la plupart des cas, ils définissent le terme en fonction du contexte de leur point d'intérêt. Certaines publications académiques montrent que si la compétitivité est un enjeu majeur (Porter, 1990), elle n'est pas encore bien définie (Westgren et Duren 1991 ; Cannor ; 2003). Pourtant, la compétitivité reste une mesure importante de l'étalonnage des performances économiques (Dunning ; 1997).

La compétitivité est la capacité à fournir des produits et services aussi ou plus efficacement et efficacement que les concurrents concernés ; Freiling et al. (2007). La compétitivité fait généralement référence à l'avantage obtenu grâce à une productivité supérieure des biens et / ou des services et, par conséquent, cette définition est conceptualisée comme la capacité de l'entreprise à rester sur les marchés dans des conditions de concurrence presque libre (Sanchez, Ron 2004). Le secteur des entreprises d'aujourd'hui révèle une image plutôt turbulente et environ la moitié des petites entreprises ne survivent pas plus de cinq ans sur le marché (Jörg S. Heinzelmann 2009).

Compétitivité durable

Le concept de compétitivité durable [2] met davantage l'accent que le concept de développement durable sur l'importance de la productivité en tant que moteur de la prospérité et de la croissance à long terme. Nous pouvons définir la compétitivité durable comme l'ensemble des institutions, des politiques et des facteurs qui rendent une nation productive à long terme tout en assurant la durabilité sociale et environnementale. La durabilité sociale, à son tour, est définie comme les institutions, les politiques et les facteurs qui permettent à tous les membres de la société de bénéficier de la meilleure

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

santé, participation et sécurité possibles ; et qui maximisent leur potentiel de contribuer et de bénéficier de la prospérité économique du pays dans lequel ils vivent.

L'idée fondamentale du concept de compétitivité durable est que, bien que la compétitivité puisse être assimilée à la productivité, la compétitivité durable peut être liée à un concept plus large qui se concentre sur des aspects qui vont au-delà des simples résultats économiques pour inclure d'autres éléments importants qui rendent les sociétés durablement prospères en assurer une croissance de qualité.

1.2. L'innovation comme moteur pour être compétitif dans la mondialisation

Définition de l'innovation [3]

Selon la définition officielle du Manuel d'Oslo de l'OCDE, "Une innovation est un produit ou un procédé nouveau ou amélioré (ou une combinaison de ceux-ci) qui diffère sensiblement des produits ou procédés antérieurs de l'unité et qui a été mis à la disposition des utilisateurs potentiels (produit) ou mis en utilisation par l'unité (procédé) ».

L'innovation est essentielle à l'amélioration du niveau de vie et peut affecter les individus, les institutions, des secteurs économiques entiers et des pays de multiples façons. Une bonne mesure de l'innovation et l'utilisation des données sur l'innovation dans la recherche peuvent aider les décideurs politiques à mieux comprendre les changements économiques et sociaux, à évaluer la contribution (positive ou négative) de l'innovation aux objectifs sociaux et économiques, et à suivre et évaluer l'efficacité et l'efficience de leurs politiques (OCDE, 2010).

L'innovation est plus qu'une nouvelle idée ou une invention. Une innovation doit être mise en œuvre, soit en étant activement utilisée, soit en étant mise à la disposition d'autres parties, entreprises, individus ou organisations.

Les impacts économiques et sociaux des inventions et des idées dépendent de la diffusion et de l'adoption des innovations connexes. De plus, l'innovation est une activité dynamique et omniprésente qui se produit dans tous les secteurs d'une économie ; ce n'est pas la seule prérogative du secteur des entreprises commerciales. D'autres types d'organisations, ainsi que des individus, apportent fréquemment des modifications aux produits ou aux processus et produisent, collectent et diffusent de nouvelles connaissances pertinentes pour l'innovation.

L'innovation se produit dans les quatre grands secteurs d'une économie, tels que définis par le Système de comptabilité nationale (SCN) des Nations Unies :

- ✓ Entreprise commerciale ;
- ✓ Gouvernement général ;

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- ✓ Ménages ;
- ✓ Les institutions à but non lucratif au service des ménages.

Les principales caractéristiques de l'innovation

Les fondements conceptuels de la mesure de l'innovation proviennent principalement des disciplines de gestion et d'économie (Smith, 2006). Les perspectives de gestion sur l'innovation couvrent comment l'innovation peut changer la position d'une entreprise sur le marché et comment générer des idées pour l'innovation. Les perspectives économiques examinent pourquoi les organisations innovent, les forces qui stimulent l'innovation, les facteurs qui l'entravent et les effets macroéconomiques de l'innovation sur une industrie, un marché ou une économie.

L'innovation n'est pas un processus linéaire et séquentiel, mais implique de nombreuses interactions et rétroactions dans la création et l'utilisation des connaissances. De plus, l'innovation repose sur un processus d'apprentissage qui s'appuie sur de multiples apports et nécessite une résolution continue de problèmes. La perspective systémique de l'innovation appelle des approches multidisciplinaires et interdisciplinaires pour examiner les interdépendances entre les acteurs, l'incertitude des résultats, ainsi que les caractéristiques dépendantes du cheminement et évolutives des systèmes qui sont complexes et non linéaires dans leurs réponses à l'intervention politique.

Connaissance

Les innovations découlent d'activités basées sur la connaissance qui impliquent l'application pratique d'informations et de connaissances existantes ou nouvellement développées. Les informations consistent en des données organisées et peuvent être reproduites et transférées entre les organisations à faible coût. La connaissance fait référence à une compréhension de l'information et à la capacité d'utiliser l'information à des fins différentes. Les connaissances sont obtenues par un effort cognitif et, par conséquent, les nouvelles connaissances sont difficiles à transférer car elles nécessitent un apprentissage de la part du destinataire. Les informations et les connaissances peuvent être obtenues ou créées à l'intérieur ou à l'extérieur d'une organisation pertinente.

Nouveauté par rapport aux utilisations potentielles

Les connaissances peuvent être utilisées pour développer de nouvelles idées, modèles, méthodes ou prototypes qui peuvent former la base d'innovations. Celles-ci peuvent provenir de sources externes ou être développées au sein d'une organisation. La nouveauté d'une innovation est liée à ses utilisations potentielles, déterminées par les caractéristiques d'un produit ou d'un procédé par rapport aux alternatives, et par les expériences antérieures de son fournisseur et des utilisateurs prévus.

Mise en œuvre et utilisation réelle

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Pour qu'une nouvelle idée, un nouveau modèle, une nouvelle méthode ou un nouveau prototype soit considéré comme une innovation, il doit être mis en œuvre. La mise en œuvre exige des organisations qu'elles fassent des efforts systématiques pour s'assurer que l'innovation est accessible aux utilisateurs potentiels, soit pour les propres processus et procédures de l'organisation, soit aux utilisateurs externes pour ses produits. L'exigence de mise en œuvre est une caractéristique déterminante de l'innovation qui la distingue des inventions, des prototypes, des nouvelles idées, etc.

La création de valeur

Considérée comme une activité économique, l'innovation nécessite des ressources qui pourraient être utilisées à d'autres fins. L'existence de coûts d'opportunité implique l'intention probable de poursuivre une certaine forme de création de valeur (ou de préservation de valeur) par les acteurs responsables d'une activité d'innovation. La valeur est donc un objectif implicite de l'innovation, mais ne peut être garantie ex ante car les résultats de l'innovation sont incertains et hétérogènes.

Besoins des utilisateurs et pertinence des données statistiques sur l'innovation

Les besoins des utilisateurs orientent la construction d'un système de mesure et de notification de l'innovation et la production subséquente de données, de statistiques, d'indicateurs et d'analyses approfondies des activités d'innovation. Il existe un intérêt généralisé à comprendre ce qui pousse les entreprises, les communautés et les individus à innover et les facteurs qui influencent leurs activités d'innovation. La pertinence des données sur l'innovation pour comprendre les processus et moteurs d'innovation peut varier selon les pays, les secteurs et les cadres institutionnels.

Il existe trois principaux utilisateurs actuels ou potentiels des données sur l'innovation :

- ✓ Universitaires ;
- ✓ Gestionnaires ;
- ✓ Décideurs politiques ou analystes politiques.

Types d'innovation par objet : innovations de produit et de processus métier

Il existe deux grands types d'innovation par objet :

- ✓ les innovations qui changent les produits de l'entreprise (innovations de produits)
- ✓ les innovations qui modifient les processus d'affaires de l'entreprise (innovations de processus d'affaires).

Innovation du produit

Une innovation de produit est un bien ou un service nouveau ou amélioré qui diffère sensiblement des biens ou services antérieurs de l'entreprise et qui a été introduit sur le marché.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Le terme « produit » est défini dans le Système de comptabilité nationale et englobe à la fois les biens et les services. Les produits sont la production économique des activités de production. Ils peuvent être échangés et utilisés comme intrants dans la production d'autres biens et services, comme consommation finale par les ménages ou les gouvernements, ou pour l'investissement, comme dans le cas des produits financiers. Les innovations de produits doivent apporter des améliorations significatives à une ou plusieurs caractéristiques ou spécifications de performances. Cela inclut l'ajout de nouvelles fonctions ou des améliorations aux fonctions existantes ou à l'utilité de l'utilisateur. Les caractéristiques fonctionnelles pertinentes comprennent la qualité, les spécifications techniques, la fiabilité, la durabilité, l'efficacité économique lors de l'utilisation, l'abordabilité, la commodité, la convivialité et la convivialité.

Les innovations de produits peuvent concerner deux types génériques de produits : les biens et les services.

La ligne de démarcation entre biens et services peut parfois être difficile à établir et certains produits peuvent présenter les caractéristiques des deux. Une entreprise peut vendre des biens à ses clients ou louer leur utilisation en tant que service, comme c'est souvent le cas pour les biens de consommation durables et les actifs destinés à la production commerciale.

Innovation de processus d'affaires

Une innovation de processus métier est un processus métier nouveau ou amélioré pour une ou plusieurs fonctions métier qui diffère sensiblement des processus métier antérieurs de l'entreprise et qui a été mis en service dans l'entreprise.

Le terme processus métier comprend la fonction commerciale principale de production de biens et de services et les fonctions de support telles que la distribution et la logistique, le marketing, les ventes et les services après-vente ; les services de technologies de l'information et de la communication (TIC) à l'entreprise, les fonctions administratives et de gestion, l'ingénierie et les services techniques connexes à l'entreprise, et le développement de produits et de processus commerciaux. Les processus métier peuvent être livrés en interne ou acquis auprès de sources externes.

2. Compétition dans le secteur textile

2.1. L'impact de la mondialisation sur la production textile et vestimentaire

Au cours des dernières années, l'industrie textile est devenue un phénomène mondial et, en raison de ses liens complexes avec de nombreux autres domaines, notamment la fabrication, la publicité, la production de matières premières, le transport et la vente au détail, a poussé les entreprises à se développer dans le monde entier et à rechercher constamment de nouveaux marchés.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Le système de production et de consommation de textiles est fortement mondialisé avec des millions de producteurs et des milliards de consommateurs répartis à travers le monde dans des chaînes de valeur hautement linéaires impliquant l'extraction des matières premières, la production, le transport, la consommation et l'élimination après utilisation.

La production actuelle de textiles et d'habillement se caractérise par l'existence de plusieurs acteurs de tailles différentes, dans des lieux géographiquement dispersés [4]. Il comprend également des étapes de production et diverses activités à réaliser dans un ordre bien connu, dans un laps de temps limité (Fernandez-Stark, Frederick, Gereffi, 2011). L'industrie du textile et de l'habillement se caractérise par une forte volatilité, une faible prévisibilité (Bruce, Daly, 2006), ainsi que des marges bénéficiaires généralement faibles. La sous-traitance est une action fréquente dans cette industrie.

Selon le marché auquel il s'adresse, on peut dire que le secteur du textile et de l'habillement se divise en deux grandes catégories, chacune avec ses caractéristiques spécifiques :

- ✓ Sur le marché des produits de qualité, l'industrie technologique moderne se caractérise par un degré élevé de flexibilité et des concepteurs et ouvriers relativement bien rémunérés. L'avantage concurrentiel des entreprises de ce segment de marché, à l'exclusion de la rentabilité, est lié à leur capacité à produire des conceptions basées sur les préférences des clients ou à influencer leurs choix. Les fonctions de base des entreprises servant ce segment de marché se trouvent en grande partie dans les pays développés et souvent dans des zones géographiques limitées ou des clusters dans ces pays
- ✓ Les entreprises orientées vers la production de masse ou vers des produits standards se rencontrent particulièrement dans les pays en développement. La main-d'œuvre est généralement semi-qualifiée ou non qualifiée, mal rémunérée et principalement composée de femmes. Ces entreprises collaborent avec des détaillants qui ont un pouvoir d'achat très élevé.

Compte tenu de la nature mondialisée de l'industrie, les entreprises et les détaillants doivent transporter leurs marchandises et leurs matières premières dans de nombreux pays. De plus, les collections de vêtements changent rapidement : leur cycle de vie est court et leur commercialisation se caractérise par de forts pics saisonniers. En ce sens, la logistique textile se caractérise par des stocks réduits et des délais de livraison courts [5]. Ces marchandises et matières premières sont généralement transportées par voie terrestre, maritime et aérienne. Dans ce contexte de logistique commerciale, de solides interconnexions multimodales sont essentielles pour assurer une livraison juste à temps.

Les développements du commerce électronique ont encore accentué les exigences logistiques liées au temps, telles que la livraison le lendemain, ainsi que la capacité de traiter un grand volume de retours et d'offrir la possibilité aux fabricants et aux revendeurs de vérifier à tout moment la localisation de leurs articles.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.2. Le défi du futur : passer à un système de production et de consommation circulaire pour le textile

La Commission européenne a identifié les textiles, les vêtements et les tissus comme une catégorie de produits prioritaires présentant un potentiel important de circularité (CE, 2019b). En outre, le paquet sur l'économie circulaire de 2018 et la DCE contiennent une obligation pour tous les États membres de mettre en œuvre la collecte séparée des textiles d'ici 2025 et d'assurer un traitement adéquat en fin de vie.

Selon les principaux décideurs politiques et acteurs du secteur, l'avenir du textile réside dans le passage d'une production linéaire à une production circulaire, afin d'être durable et en phase avec les tendances futures [6]. Que signifie la production circulaire ?

La Fondation Ellen MacArthur décrit un système textile circulaire durable comme un système « … qui est réparateur et régénérateur par sa conception et qui offre des avantages pour les entreprises, la société et l'environnement. Un système dans lequel les vêtements, les tissus et les fibres sont conservés à leur valeur la plus élevée pendant leur utilisation et réintègrent l'économie après utilisation, sans jamais finir comme des déchets » [7].

Une transition vers un système textile durable et circulaire nécessite un changement systémique profond plutôt que de simples initiatives à petite échelle et des réussites isolées [8]. Un système circulaire nécessite [9] :

- ✓ Méthodes de production innovantes,
- ✓ Nouveaux modèles économiques,
- ✓ Comportement plus durable,
- ✓ Soutenir les mesures politiques à tous les stades de la chaîne de valeur.

Les modèles commerciaux circulaires visent à créer des offres commerciales viables, tout en réduisant l'apport de ressources primaires et la production de déchets, par exemple en se concentrant sur la réutilisation des produits et des matériaux (OCDE, 2018). Afin de faire évoluer la production et la consommation de textiles vers la circularité, tous les acteurs de la chaîne de valeur doivent changer leurs comportements et leurs façons de penser et de travailler.

Points clés pour la production circulaire

Choix des matériaux

La première étape concerne le choix des matériaux. Différentes fibres sont produites à partir de différentes ressources et ont donc des impacts environnementaux et climatiques différents.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Pour les fibres naturelles, comme le coton, une amélioration des pratiques agricoles est nécessaire afin de réduire les pressions sur les terres et les ressources en eau. La culture du coton est également un grand utilisateur d'engrais et de pesticides, polluant potentiellement les eaux de surface et souterraines par ruissellement. La production durable de coton signifie une utilisation plus efficace de l'eau et des produits agrochimiques, un passage à l'utilisation de produits chimiques moins toxiques et la mise en œuvre de techniques agricoles qui préservent les sols, telles que le compostage, la rotation des cultures et le travail réduit du sol.

Pour les fibres synthétiques, les impacts environnementaux sont principalement liés à la consommation d'énergie et à l'utilisation de ressources fossiles comme matière première pour la production. En utilisant des fibres recyclées, la consommation d'énergie et l'utilisation des ressources peuvent être considérablement réduites, offrant des avantages à la fois environnementaux et économiques. Les processus de recyclage consomment généralement moins d'énergie que les processus de production de nouveaux matériaux.

Design

L'étape de conception est tout aussi importante que le choix des matériaux pour le bon développement d'une chaîne de valeur circulaire pour le textile. En effet, très souvent dans la phase de conception peut être établi le potentiel de circularité dans les étapes ultérieures du cycle de vie du produit. En général, la conception du produit doit viser à faciliter :

- Longue utilisation,
- Réparabilité et réutilisation,
- Processus de production efficaces.

La notion de longévité est essentielle dans la conception des produits. Ce concept peut être résumé en trois principes de conception :

- Concevoir pour la durabilité : créer des produits résistants à l'usure
- Design pour un style durable : créer des produits que les utilisateurs porteront longtemps. Il s'agit de prendre en compte les comportements et les préférences des utilisateurs en termes de style et d'évolution de la mode [10].
- Conception pour le démontage : assemblage des produits de manière à pouvoir être facilement démonté pour faciliter la maintenance, la réparation, la réutilisation des composants et/ou le recyclage.

Une autre façon d'augmenter la longévité des produits est leur personnalisation. Ajouter une touche personnelle aux vêtements peut pousser les utilisateurs à conserver leurs vêtements plus longtemps. Il est prouvé que les conceptions personnalisées augmentent l'attachement émotionnel des utilisateurs à leurs vêtements. Ils sont plus stimulants à réparer qu'à jeter.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Afin d'améliorer cette tendance, de nouveaux modèles commerciaux peuvent être développés où les consommateurs jouent un rôle plus actif dans la conception. Le concept de prosommateur (producteur et consommateur) apparaît lorsque le consommateur est activement impliqué dans différentes phases.

Étapes de production et de distribution

Une étape essentielle pour l'avenir est d'évoluer vers un processus de production durable et circulaire. Ça devrait être:

- économe en ressources : réduire les déchets de production et l'énergie, les matériaux et les besoins en eau du secteur, tout en passant à des matériaux et à une énergie saine et renouvelable, réduirait l'impact environnemental de l'industrie textile.

- évite la surproduction. La surproduction fait que d'énormes quantités d'articles vestimentaires inutilisés finissent comme des déchets. Pour l'éviter, une solution consiste à passer de modèles de vente push à pull et à aider les entreprises à déployer des modèles de production axés sur la demande. La vente au détail en ligne et les nouvelles technologies peuvent aider à améliorer le processus de production et à éviter la surproduction.

Etape d'utilisation

Une autre étape importante consiste à réduire le volume de textiles achetés. Pour ce faire, il est essentiel d'encourager l'utilisation partagée, l'utilisation plus longue et la réutilisation des vêtements. En conséquence, le besoin de ressources, de production et de distribution serait réduit en évitant les impacts négatifs sur l'environnement et le climat. Dans le même temps, l'intensité de l'utilisation des textiles augmenterait, car les articles seraient utilisés plus longtemps, plus souvent ou par plus de personnes. Bien sûr, ce concept est lié à la qualité des matériaux et du design : les vêtements doivent être plus durables, faciles à entretenir et à réparer. Et elle est également liée aux comportements des consommateurs. Très souvent, les consommateurs ne sont pas conscients de tous les impacts environnementaux et sociaux des textiles qu'ils achètent, en raison de la complexité des chaînes d'approvisionnement mondiales. Ils doivent être sensibilisés à l'importance de leur propre rôle dans la réduction des impacts environnementaux et climatiques dans cette chaîne.

Étapes de collecte, de recyclage et de traitement des déchets

La collecte, le recyclage et le traitement des déchets représentent l'étape finale. Au cours des dernières années, de nombreux acteurs (tant publics que privés) ont été impliqués dans de telles activités.

Le développement de systèmes de collecte sélective à grande échelle, associés à des processus de tri manuels et automatiques, est une étape cruciale pour améliorer le recyclage des textiles. De plus, il est important de mettre en place des campagnes de sensibilisation à la collecte des déchets afin

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

d'éduquer les consommateurs sur l'importance de la collecte séparée des déchets textiles. De nos jours, de nombreuses entreprises essaient souvent de motiver les clients à retourner leurs vieux vêtements en offrant des bons de réduction pour de nouveaux achats ou d'autres types de remises. De l'autre côté, de nombreuses organisations caritatives mettent en œuvre des campagnes pour les personnes défavorisées.

Une bonne idée est l'introduction du concept de responsabilité élargie du producteur (REP) dans le secteur textile. La responsabilité élargie des producteurs (REP) est une approche politique en vertu de laquelle les producteurs se voient confier une responsabilité importante – financière et/ou physique – pour le traitement ou l'élimination des produits post-consommation. L'attribution d'une telle responsabilité pourrait en principe fournir des incitations à prévenir les déchets à la source, promouvoir la conception de produits respectueux de l'environnement et soutenir la réalisation des objectifs publics de recyclage et de gestion des matériaux (OCDE). L'introduction de la REP pourrait faciliter la collaboration entre les différents acteurs du secteur, en conduisant à des choix de matériaux conscients et à des efforts de conception pour le recyclage (EEA, 2014).

Dans le cas où les vêtements ne peuvent pas être réutilisés, une alternative est la réutilisation du matériel. Une application typique des vêtements usagés consiste à les découper en chiffons industriels et en chiffons de nettoyage. Au cours des dernières années, de nombreux déchets ont été réutilisés pour créer un produit totalement nouveau et meilleur.

Références

[1] Ciape Italian Permanent Learning Center. *Competitiveness in the Garment and Textiles Industry: Creating a supportive environment*. Realised within the project FOSTEX: Fostering innovation in the Jordan and Moroccan textile industry Project No - 598347-EPP-1-2018-1-ES-EPPKA2-CBHE-JP

[2] World Economic Forum. *Defining sustainable competitiveness*. Reports.webforum.org [Online]. Disponible sur : https://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2014-2015/defining-sustainable-competitiveness/ [Consulté le : Mai 27, 2021].

[3] OECD/Eurostat (2018), *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*, OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg.

[4] A. Dima, C. Dobrin, Globalization and the Competitiveness of the European Textile and Clothing Industry, *The Annals of the University of Oradea. Economic Sciences* Volume 24 (1102):1108 Re – May 2015

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[5] A. Teodoro and L. Rodriguez (2020/05/29). *Textile and garment supply chains in times of COVID 19: challenges for developing countries*. UNCTAD. [Online]. Disponible sur : https://unctad.org/news/textile-and-garment-supply-chains-times-covid-19-challenges-developing-countries [Consulté le : Mai 27, 2021].

[6] S. Manshoven et al., ETC/WMGE Report. *Textiles and the environment in a circular economy*. November 2019. [Online] Disponible sur : https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-reports/textiles-and-the-environment-in-a-circular-economy [Consulté le : Juin 23, 2021].

[7] Ellen Macarthur Foundation (2017). *A new textiles economy: redesigning fashion's future.* [Online] Disponible sur : https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy [Consulté le : Mai 27, 2021].

[8] Publications (2019). *Sewing the pieces together: towards an EU strategy for fair and sustainable textiles*. ECDPM making policies work. [Online] Disponible sur : https://ecdpm.org/publications/sewing-pieces-together-towards-eu-strategy-fair-sustainable-textiles/ [Consulté le : Mai 27, 2021].

[9] European Technology Platform for the Future of Textiles and Clothing. *Towards a 4th Industrial Revolution of Textiles and Clothing. A Strategic Innovation and Research Agenda for the European Textile and Clothing Industry*, 2016

[10] G. Préau, "Sustainability and Globalization in Fashion: Can the fashion industry become sustainable, while remaining globalized?", Master Thesis, HEC Paris, Grande Ecole, 2020. [Online] Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/344228898_Sustainability_and_Globalization_in_Fashion_Can_the_fashion_industry_become_sustainable_while_remaining_globalized [Consulté le : Juin 07, 2021].

[11] K. Fernandez-Stark, S. Frederick, G. Geref, The Apparel Global Value Chain ECONOMIC UPGRADING AND WORKFORCE DEVELOPMENT, Duke University Center on Globalization, Governance and Competitiveness (Duke CGGC), 2011 [Online] Disponible sur : https://gvcc.duke.edu/wp-content/uploads/2011-11-11_CGGC_Ex.Summary_Apparel-Global-Value-Chain.pdf [Consulté le : Juin 07, 2021].

[12] M. Bruce and L. Daly, "Buyer behaviour for fast fashion", *Journal of Fashion Marketing and Management*, Vol. 10, No. 3, pp. 329-344, 2006

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Quelles sont les principales caractéristiques de l'innovation ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Connaissances ; nouveauté par rapport aux utilisations potentielles ; mise en œuvre et utilisation réelle ; la création de valeur
b) Connaissances ; mise en œuvre et utilisation réelle ; la création de valeur
c) Connaissances ; nouveauté par rapport aux utilisations potentielles ; la création de valeur

Question 2 : Quels sont les points clés de la production textile circulaire ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Choix des matériaux ; conception ; étapes de production et de distribution ; utiliser le stade ; étapes de collecte, de recyclage et de traitement des déchets
b) Choix des matériaux ; étapes de production et de distribution ; utiliser le stade ; étapes de collecte, de recyclage et de traitement des déchets
c) Choix des matériaux ; conception ; étapes de production et de distribution ; étapes de collecte, de recyclage et de traitement des déchets

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 6.3 Logistique et gestion de la chaîne d'approvisionnement

Melina Azariadi, Tia Bilali
CRE.THI.DEV

1. Introduction à la logistique

Le terme logistique est indiqué comme suit :

1. Le processus de planification, de mise en œuvre et de contrôle du flux et du stockage efficients et efficaces des biens, services et informations connexes du point d'origine au point de consommation afin de répondre aux exigences des clients [11]

2. Gérer le flux d'informations, d'argent et d'idées par la coordination des processus de la chaîne d'approvisionnement et par l'ajout stratégique de valeurs de lieu, de période et de modèle.

1.1. Le flux de matières et le flux d'informations

Le flux de matières vise des flux continus et synchrones qui aident l'entreprise à éviter les processus étroits, l'inventaire intermédiaire, l'échec de l'achèvement du processus, la gestion des interruptions inutiles, la livraison à temps et la séquence appropriée. Un flux de matières efficace renforce l'avantage concurrentiel de l'entreprise. La réduction des stocks et des frais de portage ; la demande (basée sur la demande et les exigences du marché) améliorera la visibilité et la traçabilité dans la chaîne d'approvisionnement.

Le flux d'informations vise à intégrer les données provenant des commentaires des clients sur le produit ou le service fourni. Ces informations comprennent les données sur l'offre et la demande. Les participants impliqués dans le flux d'informations atteignent l'objectif des activités opérationnelles de manière courante, efficace et automatisée. L'alignement dans les activités nécessite des données d'exploitation partagées et une véritable collaboration entre les membres de la chaîne d'approvisionnement.

1.2. Flux de trésorerie et autres flux de ressources

Il est organisé par l'effet bullwhip, où il y a un événement spécifique détecté entre les clients et le fabricant, comme on peut le voir dans la figure 1. Cet événement est rencontré lorsque le nombre de commandes d'un fabricant à l'autre a un écart plus important que la commande demandée par le

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

marché, c'est-à-dire les clients. Cet effet peut interrompre le bon déroulement du processus de la chaîne d'approvisionnement puisque l'importance des commandes irrégulières sera surestimée ou sous-estimée par les maillons de la chaîne d'approvisionnement (fabricant, fournisseur, vendeur, etc.).

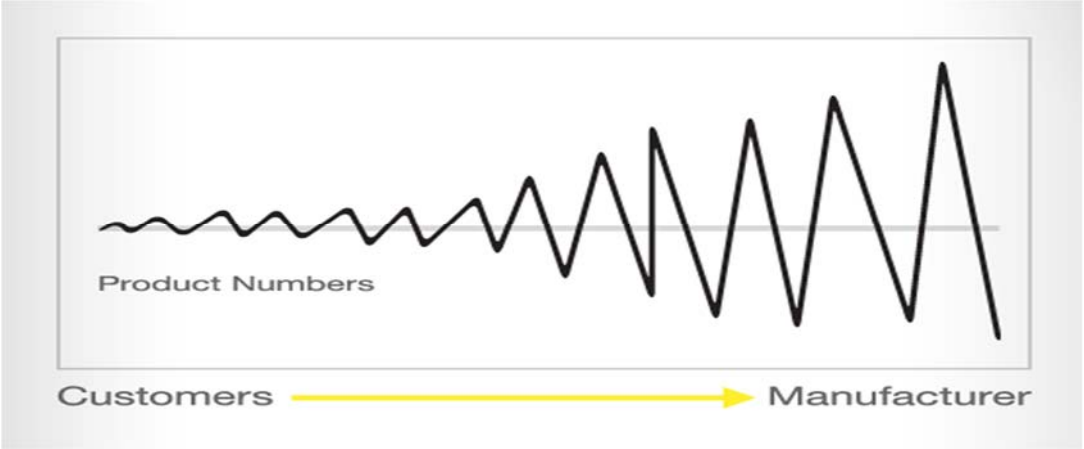


Figure 1. L'effet bullwhip *[12]*

2. Gestion de la chaîne d'approvisionnement

La gestion de la chaîne d'approvisionnement (GCA) est l'administration de l'ensemble du flux de production d'un produit / service. Il comprend tous les processus qui transforment les matières premières en produits finis, en utilisant un réseau de fournisseurs [3], [4]. En gérant la chaîne d'approvisionnement, les entreprises contrôlent la production, l'expédition et la distribution finale des marchandises, ce qui leur permet de réduire les coûts excédentaires et de livrer leurs produits plus rapidement aux consommateurs. En général, le concept principal de GCA représente l'idée que chaque produit qui est mis à la disposition des consommateurs est le résultat de l'effort de plusieurs organisations [5]. C'est un concept très réaliste étant donné que chaque produit provient de l'élaboration de matières premières, doit être stocké, expédié et finalement distribué aux consommateurs. Ce sont tous des processus difficiles qui ne peuvent pas être effectués par une seule entreprise.

2.1. Parties de la gestion de la chaîne d'approvisionnement

Il y a 5 parties des systèmes de gestion de la chaîne d'approvisionnement [3] :

- **<u>Planification</u>**

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cette partie consiste à planifier et à gérer toutes les ressources nécessaires pour répondre à la demande et aux attentes des clients pour les produits / services de l'entreprise.

● **Approvisionnement**

Cette partie consiste à trouver des fournisseurs pour fournir les matériaux nécessaires à la création de produits. La commande, la réception des marchandises, la gestion des stocks et l'autorisation des paiements des fournisseurs sont les processus de base qui ont lieu dans la partie approvisionnement.

• **Fabrication**

Cette partie concerne l'organisation des activités d'acceptation des matières premières, de fabrication du produit, de tests de qualité, d'emballage et de planification de la livraison.

● **Livraison et logistique**

Cette partie concerne la gestion des commandes des clients, la planification des livraisons, l'expédition des produits, la facturation des clients et la réception des paiements.

● **Retour**

Cette partie comprend tous les processus de prise en charge des produits défectueux, excédentaires ou indésirables.

2.2. Éléments essentiels de SCM

Il existe des concepts sous-jacents de base qui définissent la pratique de la GCA et qui n'ont pas beaucoup changé au cours des siècles. Une gestion efficace de la chaîne d'approvisionnement nécessite des activités simultanées et des améliorations des niveaux de service à la clientèle ainsi que de l'efficacité opérationnelle interne des parties participant à une chaîne d'approvisionnement. Les taux de livraison à temps, les taux de remplissage élevés des commandes et les faibles produits retournés par le client sont des éléments essentiels qui définissent le service à la clientèle à son niveau le plus élémentaire. [10].

D'autre part, les entreprises d'une chaîne d'approvisionnement augmentent leur efficacité opérationnelle interne en recevant un taux de retour sur investissement attractif - sous la forme de différents actifs, c'est-à-dire des stocks, d'autres actifs - ou en réduisant les coûts opérationnels, les ventes, et les coûts de production [10].

Dans la chaîne d'approvisionnement de tout secteur, les entreprises, qui sont les parties qui y participent, doivent prendre des décisions individuelles et collectives concernant les actions à entreprendre. Ces décisions couvriront les activités de cinq domaines qui résument le flux de logistique

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

dans GCA. Ces cinq domaines, également appelés moteurs de la chaîne d'approvisionnement, sont les suivants :

- **Production**

Étude du marché et des besoins des consommateurs. De plus, les entreprises doivent avoir des rôles de contrôle interne pour la création et le maintien des horaires de travail, l'équilibre de la charge de travail, les contrôles de qualité, la maintenance de l'équipement.

- **Inventaire**

Stockage des stocks et à quel stade de la chaîne d'approvisionnement, emplacements d'inventaire efficaces, infrastructure, locaux, coûts de tenue de l'inventaire.

- **Emplacement**

Le choix de l'emplacement est d'une importance vitale pour les entreprises car il définira parmi beaucoup d'autres deux facteurs majeurs dans le GCA. Le transport et les coûts. L'emplacement des installations, les entrepôts pour les stocks, et leurs conditions de maintenance qui seront suivies, conduisent à la prochaine étape qui sera la création de chemins possibles disponibles pour le flux de produits du fabricant au consommateur.

- **Transports**

Pour que le flux de production se « déplace », les transports et les moyens utilisés pour celui-ci s'ajouteront à la bonne organisation de la chaîne d'approvisionnement. Le comment, quand et quel coût est là, diriger le processus de prise de décision dans le transport.

- **Informations**

À l'époque, la quantité de données collectées et la quantité de données partagées ouvertement étaient les principaux facteurs du flux d'informations d'une chaîne d'approvisionnement.

De nos jours, la réflexion et l'orientation en matière de durabilité ajoutent la transparence du partage d'informations tout au long du processus d'un GCA jusqu'à ce que le produit final atteigne l'utilisateur final.

La réactivité et l'efficacité des actions entreprises dans les cinq moteurs de la chaîne d'approvisionnement optimiseront et développeront les compétences de base de l'entreprise. Définir le rôle que l'entreprise veut jouer dans le CA, c'est-à-dire le producteur, le distributeur, le détaillant ou le fournisseur de services est la prochaine étape du GCA.

3. Logistique internationale et configuration CA

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Ce qui motive le monde si l'entreprise dans l'internationalisation de leurs activités n'est pas seulement un moteur. Il existe plusieurs raisons à l'environnement mondial que les entreprises créent en collaboration. Coûts des facteurs et des produits ; des économies de différentes échelles ; l'approvisionnement en matériel ; les procédures de gestion et de travail ; les opportunités de marché sont quelques-uns des principaux facteurs qui attirent l'activité internationale des entreprises.

La logistique internationale et la configuration CA seront réalisées en banalisant le transport et l'information et en utilisant de manière efficace et efficiente la technologie de communication.

Cependant, une telle action peut entraîner des risques dans les résultats et des implications dans les processus. Les secteurs du CA qui peuvent présenter des interruptions concernent la gestion des stocks, les délais de mise sur le marché, les coûts de manutention, les transports en vrac, les pannes de transport, les menaces géopolitiques, la concentration sur des sites spécifiques, l'heure d'arrivée prolongée et les transits peu fiables, les douanes et les interruptions d'approvisionnement.

Les activités et l'organisation de CA international sont gérées par une conception de réseau efficace qui fonctionne bien, une gestion efficace des risques et une bonne gouvernance afin d'être légalement couverts. En raison de la variété des lieux géographiques inclus, il doit y avoir une reconfiguration des processus afin de pouvoir fonctionner dans tous les domaines différents.

3.1. Optimisation CA internationale

Pour améliorer le flux et les résultats d'un flux CA international, le principal facteur qui nécessitera une réforme sera le transport et les transits. Les actions exemplaires prises pour l'optimisation sont l'augmentation de la taille des navires (transport maritime), l'augmentation du nombre de lignes à grande vitesse, l'amélioration du trajet de livraison, l'augmentation de la fréquence de remplissage des véhicules. Il existe deux approches courantes pour mettre en œuvre ce qui précède :

- *Usines ciblées :* La division, la spécialisation et l'accent mis sur l'assemblage d'un produit à travers différentes procédures de fabrication de ses pièces ; pour tous ses produits, ce qui entraîne une réduction des coûts et une spécialisation des produits. Même si une telle action obligera le secteur des transports à couvrir de plus longues distances et à des taux plus élevés, la localisation du marché s'est avérée apporter des résultats positifs.

- *Inventaires centralisés :* Au lieu d'appliquer des changements dans le secteur de la production, cette approche se concentre sur la gestion des stocks. En fonction des exigences du marché et du temps nécessaire à l'exécution des activités du CA, la demande fixe la division des stocks. Il est préférable, lorsque dans les productions et les canaux à grande échelle, l'inventaire doit être local, en fonction du fait que la disponibilité des marchandises est importante à considérer. Par conséquent, le délai de livraison sera plus court.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

4. Gestion durable de la chaîne d'approvisionnement - GDCA

La gestion des opérations de la chaîne d'approvisionnement, des informations, des ressources et des fonds afin de maximiser la rentabilité de la chaîne d'approvisionnement tout en minimisant l'impact environnemental et sociologique et en augmentant le bien-être est ce qui, selon Hassini (2010), consiste en la définition de la gestion durable de la chaîne d'approvisionnement. [13].

Un modèle GDCA nécessite une approche holistique de la question, donc la conception de produits, de processus et de SC indépendamment et simultanément. Apparemment, il y a une boucle créée, sans début ni fin pour les processus puisqu'ils sont tous connectés. Une telle boucle s'appelle une économie d'entreprise circulaire.

Cette approche cache des risques qui apparaissent sous la forme de conflits sur le type de valeur fournie sur le marché, et que les multiples décideurs et parties prenantes d'un SC pourraient ne pas avoir une collaboration efficace.

4.1. Défis en matière de durabilité

Il existe des défis majeurs liés à la pensée durable qui, de nos jours, doivent être affrontés et surmontés de manière correcte, transparente, claire et équitable. Le processus de production, de promotion, de transport et d'approvisionnement des produits doit commencer par une réflexion durable en raison des nombreux problèmes environnementaux causés par la production textile. Les secteurs où tous ces défis semblent varier en contenu et proviennent de la nature des économies ; les sources de pollution ; la déflation des ressources naturelles et la pauvreté. Le tableau 1 en donne quelques exemples.

Les mesures stratégiques pour maîtriser les défis susmentionnés, en termes de réduction de la pollution est la prévention de sa cause ; la déflation des ressources naturelles sera remplacée par une responsabilité et une intendance accrue des produits ; la pauvreté sera évitée en ouvrant davantage de postes, en attirant des ressources humaines et en fournissant une main-d'œuvre socialement responsable.

Table 1. Principaux défis en matière de durabilité

Défis majeurs en matière de durabilité			
Économies	**Sources de pollution**	**Déflation des ressources naturelles**	**Pauvreté**
Développé	Gaz à effet de serre, matières toxiques, sites contaminés	Rareté des matériaux, réutilisation insuffisante, recyclage insuffisant	Chômage urbain, rejet des minorités

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Émergent	Émissions industrielles, eau contaminée, manque d'assainissement de traitement	Surexploitation des ressources renouvelables, surexploitation des ressources naturelles (c'est-à-dire l'eau)	Migration vers les villes, diminution de l'agriculture, manque d'employeurs qualifiés, inégalités hiérarchiques
Survie	Manque d'assainissement, destruction des écosystèmes	Perte de sol, surpâturage, destruction des forêts	Croissance démographique, dislocation, inégalité des femmes

4.2. Vue basée sur les ressources naturelles (VBRN)

De nos jours, il est important que la direction de CA prenne en considération ce que les activités humaines ont comme impacts à l'échelle mondiale. Il existe trois capacités stratégiques interconnectées qui sont formées par les conséquences de la production et de la consommation sur l'environnement et sur l'existence humaine. Les entreprises sont en mesure et obligées de contribuer à la prévention de la pollution, à la gestion responsable des produits et au développement durable pour réussir dans le modèle VBRN tel qu'énoncé par Hart (1995) *[14]*.

Le modèle VBRN promeut que les mesures stratégiques d'un GDCA sont divisées en trois catégories [15] [16] :

- *Prévention de la pollution*

Obtenu par un meilleur entretien ménager, la substitution des matériaux, des processus innovants dans l'ensemble du CA au lieu de la fin (processus durables dans la production, l'approvisionnement, la fabrication plutôt que le recyclage en réutilisant uniquement). Une approche proactive améliore le processus et se fait selon une portée totale de gestion de la qualité de l'environnement.

- *Gestion des produits*

En ayant, comme moteur, « la voix de l'environnement » dans les processus CA, les fabricants, les détaillants, les fournisseurs, les consommateurs, les recycleurs agissent selon une approche proactive en matière de DP (développement de produits) plutôt que sur une approche réactive dans l'après-vie du produit. Par conséquent, la conception du produit est optimisée, les risques environnementaux sont réduits et la communication est plus transparente et accessible. En partie, le processus de gestion des produits est obtenu volontairement par les parties concernées, c'est-à-dire les recycleurs qui n'en tirent aucun avantage tangible. Du côté du fabricant, la création de designs intemporels, la fourniture de hautes qualités, l'orientation service plutôt que faible coût et le maintien d'une chaîne de produits axée sur le service sont quelques-unes des mesures prises pour une approche durable.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- *Développement durable*

L'objectif d'un CA oblige les parties concernées à avoir des objectifs sociaux et environnementaux dans le concept général de durabilité. Ce dernier n'est pas seulement tangible mais intangible et philosophique en même temps.

D'une part, il y a la réduction de la consommation de matériaux et d'énergie dans les marchés développés tout en construisant des marchés dans les pays en développement, et d'autre part, il y a la durabilité sociale qui fait circuler les humains, le travail, les ressources, le chômage et les inégalités.

5. Industrie du textile et de l'habillement en Tunisie

Historiquement, les textiles ont été à la base de nombreuses innovations industrielles et de méthodes révolutionnaires pour de nombreux pays. Même dans les premiers jours, l'industrie était mondiale car les matières premières provenaient des anciens empires, étaient expédiées en Europe et les produits finis étaient envoyés au consommateur final à travers le monde. [9].

La mondialisation est un facteur important qui a affecté les industries du textile et de l'habillement des pays, car elle est dynamique en raison des avantages relatifs et comparatifs des lieux, des prix et des personnes qui changent au fil du temps. La fabrication de textiles est en train d'être décentralisée au fil des ans, se déplaçant vers l'extérieur, en raison du coût inférieur de la main-d'œuvre et de la facilité de transport.

Selon une étude menée en 2009, Bassem (2009) explique que puisque l'industrie textile joue un rôle majeur en Tunisie principalement pour l'emploi et les profits des devises étrangères et au cours des deux dernières décennies, le pays a connu une croissance substantielle dans le secteur. En 2007, le secteur textile tunisien a fourni 30% de valeur ajoutée provenant des exportations et 200.000 personnes ont trouvé des postes qui ont été ouverts par plus de 200 entreprises représentant 40% de l'emploi total dans l'industrie manufacturière [9].

La Tunisie a aujourd'hui une grande industrie de l'habillement composée d'environ 1000 entreprises et 160.000 travailleurs, qui vend des produits à des marques haut de gamme sur le marché européen. La Tunisie fait partie des 15 premiers fournisseurs de vêtements au monde et a l'avantage d'être proche du marché européen. C'est le cinquième plus grand fournisseur de l'Union européenne, ainsi que le premier fournisseur de pantalons de l'UE. En 2006, les exportations de l'industrie ont été estimées à 2,1 milliards USD, comme nous pouvons le voir dans le graphique de la figure 2. juste en dessous [6]. Le marché européen est le principal client des exportations tunisiennes, ce qui a conduit à cette collaboration en raison des actions de ce dernier prises pour fournir des services satisfaisants, tels que l'expédition rapide de marchandises. Selon CETTEX (Centre Technique Textile Tunisien, 2007),

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

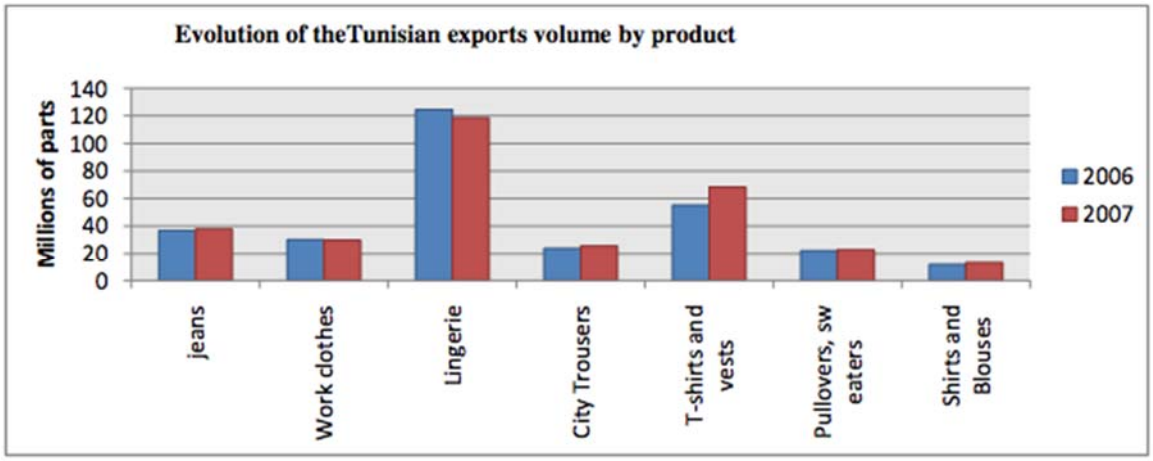
les autorités tunisiennes ont mis en place un système flexible pour accélérer les ordres de livraison [7]. Les incitations fiscales semblaient être une motivation clé pour maintenir les investissements en Tunisie.

En ce qui concerne les années 2006 et 2007, les principaux produits vestimentaires exportés de la Tunisie ont été mentionnés dans le tableau 2. Ci-dessous, tel que rapporté par CETTEX :

Table 2. Les principaux produits tunisiens exportés de 2006-2007

Valeur : millions de dinars tunisiens **Volume :** des millions d'articles	**2006**		**2007**		**Evolution**	
	Valeur	**Volume**	Valeur	**Volume**	Valeur	**Volume**
Jeans	719,31	36,71	811,22	37,89	12,80%	3,20%
Vêtements de travail	430,22	30,34	473,17	29,90	10%	-1,50%
Lingerie	570,63	124,42	619,60	118,44	8,60%	-4,80%
Pantalon de ville	479,54	23,84	541,56	25,74	12,90%	8%
T-shirts et gilets	376,22	55,26	470,80	68,25	25,10%	23,50%
Pull	256,47	22,11	280,39	22,79	9,30%	3,10%
Chemises et chemisiers	181,43	11,63	214,54	12,84	18,20%	10,40%
Autre	14475,97	215,52	1775,41	245,84	22,80%	14,10%

Figure 2 présente le graphique de l'évolution des exportations tunisiennes dans l'industrie de l'habillement de 2006 à 2007.



Source: Tunisian Textile Technical Center (CETTEX).

Figure 2. Évolution du graphique du volume des exportations tunisiennes

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Selon le Centre du commerce international (ITC) et le Programme mondial des textiles et de l'habillement (GTEX), en Tunisie, le secteur T&C est le plus grand secteur industriel et presque entièrement orienté vers l'exportation [17]. Les dernières recherches (de 2017) montrent que l'industrie des T&C comprend environ 1.592 entreprises ; plus de 158 000 travailleurs ; contribue à hauteur de 3 % du PIB du pays ; exportent principalement dans l'UE et, en 2017, le pays a levé un montant de 2,6 milliards d'exportations [17]. Le secteur comprend des entreprises appartenant à des Tunisiens ou à propriété mixte. Étant donné qu'un peu moins de la moitié de l'industrie appartient à des étrangers, les décisions sont prises à l'extérieur du pays [17].

5.1. Gestion de la chaîne d'approvisionnement : industrie tunisienne du textile et de l'habillement

Cependant, le point faible des petites et moyennes entreprises tunisiennes est la partie de GCA, en raison du manque de capacités correctes. En conséquence, les entreprises tunisiennes de textile et d'habillement (T&A) sont très dépendantes de leurs acheteurs en termes d'approvisionnement et d'approvisionnement. Le secteur tunisien du textile et de l'habillement est confronté à plusieurs contraintes défavorables qui empêchent l'expansion de ses activités. En fait, l'industrie du textile et de l'habillement est limitée par [7] :

- Le manque de formation et d'encadrement,
- Connaissance insuffisante des marchés d'exportation et manque de stratégie marketing,
- Les coûts de production restent relativement élevés,
- La Tunisie n'est pas seulement un pays qui n'a pas de matières premières, mais elle est également incapable de fournir des intrants aux conditions de prix et de qualité des pays concurrents,
- La plupart des exportations textiles passent par des sous-traitants qui travaillent sous les commandes reçues des fabricants européens.

D'autre part, le secteur T&C en Tunisie, continue de faire face à trois sources de faiblesse, selon une étude menée en 2004 :

- Le manque de textile fonctionnel et le secteur de la finition. La faible qualité des actions entraîne des problèmes d'approvisionnement local qui se traduisent par l'absence d'un secteur textile fonctionnel.
- Forte dépendance des exportations de vêtements, en particulier vers le marché de l'UE.

Si le secteur tunisien des T&C s'unissent pour créer des capacités conjointes et individuelles dans le domaine de la GCA, l'industrie sera beaucoup plus indépendante et puissante et les obstacles créés par la petite taille de la plupart des entreprises pourront être surmontés.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

D'autre part, les clients s'attendent à plus de respect de l'environnement que les opérations traditionnelles. Les industries ont besoin de plus de motivations (facilitateurs) pour l'adoption de la GDS durable afin d'améliorer leur performance environnementale. Les organisations textiles ont une conscience environnementale notable et sont également intéressées à fidéliser leurs clients en améliorant la performance environnementale [7].

Ces objectifs pourraient potentiellement être atteints si un certain nombre de petites entreprises travaillaient ensemble pour développer des renforcements de capacité d'approvisionnement conjoints, tandis que les moyennes et grandes entreprises créent de nouveaux liens d'approvisionnement principalement au niveau régional.

Références

[1] Meyer, S., 2021. *Understanding the COVID-19 Effect on Ecommerce*. [Online] The BigCommerce Blog. Disponible sur : https://www.bigcommerce.com/blog/covid-19-ecommerce/#product-categories-shifting-during-covid-19 [Consulté : Juin 2, 2021].

[2] UN News. 2021. *Global e-commerce jumps to $26.7 trillion, fuelled by COVID-19*. [Online] Disponible sur : https://news.un.org/en/story/2021/05/1091182 [Consulté : Juin 2, 2021].

[3] Ibm.com. 2021. *What is supply chain management?* [Online] Disponible sur : https://www.ibm.com/topics/supply-chain-management [Consulté le : Juin 2, 2021].

[4] Investopedia. 2021. *Supply Chain Management (SCM): What You Need to Know*. [online] Disponible sur : https://www.investopedia.com/terms/s/scm.asp [Consulté : Juin 2, 2021].

[5] Handfield, R., 2021. *What is Supply Chain Management (SCM)? | SCM | Supply Chain Resource Cooperative (SCRC) | North Carolina State University*. [Online] Supply Chain Resource Cooperative. Disponible sur : https://scm.ncsu.edu/scm-articles/article/what-is-supply-chain-management-scm [Consulté le : Juin 2, 2021].

[6] Econstor.eu. 2021. [Online] Disponible sur : https://www.econstor.eu/bitstream/10419/187430/1/1041145942.pdf [Consulté : June 2, 2021].

[7] Kahia, Montassar (2017): The Framework of Tunisian Textile and Clothing Industry, https://mpra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/77032 [Consulté : Juin 2, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[8] A. Diabat, D. Kannan, K. Mathiyazhagan, 2014. Analysis of enablers for implementation of sustainable supply chain management – A textile case, Journal of Cleaner Production, 83, 391-403, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.081

[9] ANDERSON, A. R., HARBI, S. E. and BRAHEM, M., 2012. The Tunisian textile industry: local responses to internationalisation. Available from OpenAIR@RGU. [Online]. Disponible sur : http://openair.rgu.ac.uk [Consulté : Juin 2, 2021].

[10] M. H. Hugos, *Essentials of supply chain management*. 4th edition, John Wiley & Sons, 2018.

[11] Basic Principles of Logistics Management in *Logistics Planning and Analysis*, *Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) 2014.* [Online]. Disponible sur : https://www.asean.org/wp-content/uploads/images/2015/september/transport-facilitation/batch-3/Logistics-Planning-and-Analysis/LPA%20Chapter%201%20Intro%20%20case%20study%20ok%206pp_ASEAN%20disclaimer.pdf [Consulté : Juin 24, 2021].

[12] Logistics & Materials Handling Blog (2021). *What is the Bullwhip Effect? Understanding the concept & definition.* Adaptalift Group. [Online]. Disponible sur : https://www.adaptalift.com.au/blog/2012-04-02-what-is-the-bullwhip-effect-understanding-the-concept-definition [Consulté : Juin 24, 2021].

[13] E. Hassini, Surti, C., & Searcy, C., "A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics", *International Journal of Production Economics*, 140 (1), pp. 69-82, 2012

[14] S. Hart, G. Dowell, "Invited Editorial: A Natural-Resource-Based View of the Firm", *Journal Of Management*, *37* (5), pp. 1464-1479, 2010

[15] Hart, S., "A Natural-Resource-Based View of the Firm", *Academy of Management Review*, *20* (4), pp. 986-1014, 1995

[16] R. Sánchez-Flores et al., "Sustainable Supply Chain Management—A Literature Review on Emerging Economies", *Sustainability*, *12*(17), p. 6972, 2020

[17] Large Projects and Programmes. *Tunisia: Improving the international competitiveness of the textile and clothing sector (GTEX).* International Trade Centre. [Online]. Disponible sur : https://www.intracen.org/projects/gtex/Tunisia-Improving-the-international-competitiveness-of-the-textile-and-clothing-sector-GTEX/ [Consulté : Juin 29, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Quelle partie de la chaîne d'approvisionnement contient la recherche de fournisseurs pour les matériaux, la commande et la réception des marchandises, la gestion des stocks et l'autorisation des paiements des fournisseurs ?
Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Approvisionnement
b) Planification
c) Livraison et logistique

Question 2 : Quelles sont les capacités stratégiques formées par les conséquences de la production et de la consommation ?
Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Prévention de la pollution, gestion responsable des produits, développement durable
b) Pollution, produit
c) Intendance des produits, durabilité

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 6.4 Chaînes de Valeur T&C et Marchés de Créneaux

Theophile CONTARGYRIS & Marianna MAGLARA MORNEAU
CEDECS-TCBL

Introduction

Définir le paysage et identifier les opportunités de T&C dans un contexte spécifique est l'objectif principal de ce cours. L'objectif est de préparer les personnes intéressées à "saisir les opportunités" offertes dans la chaîne de valeur T&C en raison de ses défis et évolutions spécifiques ou de nouveaux marchés de niche créés par des découvertes technologiques, des innovations sociales, des tendances du marché ou des changements politiques dans une région et un pays spécifique.

Ce cours couvre, en effet, deux approches qui aident à "saisir l'opportunité", à être prêt et à l'attraper. De plus, ce cours offre un autre point de vue dans lequel les opportunités ne sont pas purement aléatoires et peuvent être provoquées par leur identification. Dans un premier temps, on apprendra sur la chaîne de valeur de l'industrie du textile et de l'habillement, son évolution, ses enjeux ainsi que ses tendances et son avenir pour pouvoir analyser ses éventuelles forces, faiblesses, opportunités et menaces. Dans une deuxième partie, on explorera les marchés de niche et les différents concepts entourant cette notion, les stratégies qui peuvent être appliquées pour y faire face, les avantages et les inconvénients pour y faire face ainsi que des exemples d'entreprises performantes qui ont exploité certains marchés de niche spécifiques et qui peut en inspirer de nouveaux.

1. Comprendre les chaînes de valeur de l'industrie T&C

Une chaîne de valeur peut être définie par la série d'étapes impliquées dans la production de ce qui est vendu aux consommateurs, chaque étape ajoutant de la valeur au produit ou au service. Les chaînes de valeur ont tendance aujourd'hui à devenir circulaires car, de plus en plus, nous voulons que les matériaux recyclés réintègrent la chaîne de valeur en tant que matières premières.

La chaîne de valeur T&C comprend toutes les entreprises impliquées dans les différentes étapes de la production de T&C vendues aux consommateurs, chaque étape ajoutant à sa valeur. Il est important de cartographier les acteurs de la chaîne de valeur afin d'identifier les points critiques et d'entreprendre les mesures correctives. Les acteurs de la chaîne de valeur textile sont tous les individus et entités qui fournissent ou reçoivent de la valeur de la conception, de la fabrication, de la distribution, de la vente au détail ou de la consommation d'un produit textile ou de l'approvisionnement en

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

matières premières pour le fabriquer, ainsi que de la fourniture de services et de technologies aux acteurs ci-dessus.

En termes de perméabilité aux innovations d'une chaîne de valeur et surtout à la digitalisation, sa maturité numérique compte. Elle peut être mesurée selon quatre dimensions :

1. Dans quelle mesure les entreprises sont-elles numérisées et connectées en interne ?
2. Dans quelle mesure les entreprises sont-elles connectées numériquement à leurs clients ?
3. Dans quelle mesure les entreprises sont-elles connectées numériquement à leurs chaînes d'approvisionnement mondiales ?
4. Dans quelle mesure les entreprises utilisent-elles ces connexions par le biais d'analyses prédictives et autres pour améliorer leur compétitivité (améliorer l'expérience client et la valeur) ?

Les chaînes de valeur T&C sont en train d'améliorer leurs performances vers ces quatre dimensions, notamment en raison de la pression à l'innovation que subissent leurs acteurs pour faire face aux tendances et problèmes affectant les chaînes de valeur T&C présentés ci-dessous.

1.1. Chaîne de valeur de l'industrie du textile et de l'habillement

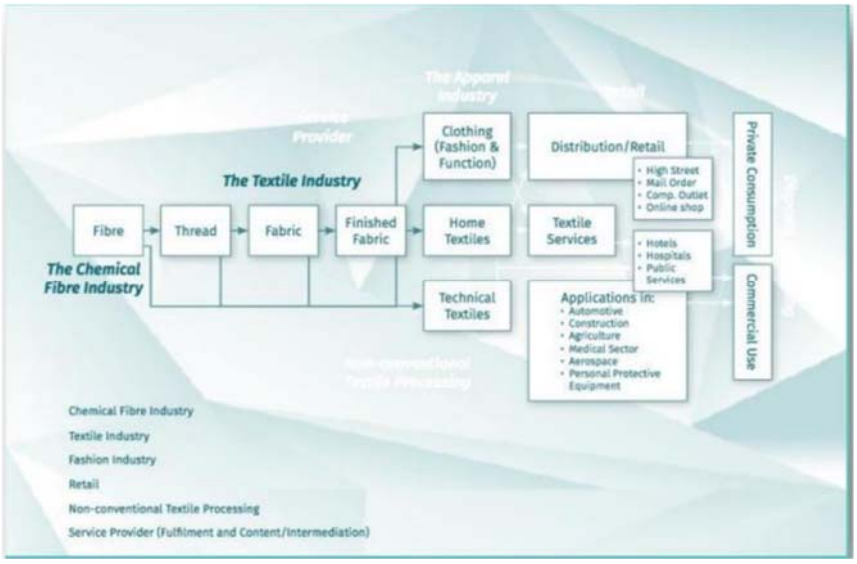


Figure 1 : L'industrie textile (www.textile-platfrom.eu)

La chaîne de valeur intègre non seulement les processus physiques, tels que les exploitations agricoles et les usines, mais également les modèles commerciaux et la manière dont les produits sont conçus, promus et proposés aux consommateurs. Ces activités non manufacturières, y compris la conception,

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

la commercialisation, la vente au détail, la publicité et l'édition, déterminent dans une large mesure la façon dont les produits textiles sont produits et consommés.

Au cours des différentes étapes de la chaîne de valeur, les risques ne sont pas les mêmes et la mesure de l'impact n'est pas aussi claire et transparente.

Pour un produit textile, la chaîne de valeur commence par la production de fibres. Il peut s'agir soit de l'approvisionnement en matières agricoles naturelles et de leur traitement ultérieur pour extraire la fibre (boîte de coton), soit de l'extraction de pétrole brut et de la fabrication de produits chimiques à partir desquels les fibres synthétiques sont fabriquées (par exemple, le polyester), soit d'une combinaison des deux, comme les textiles, qui sont souvent des mélanges de fibres naturelles et synthétiques ou impliquent les deux matériaux naturels.

Étape de production de fibres : l'extraction et la transformation des fibres, le transport entre l'extraction et la transformation des matières premières, et entre la production de fibres et la préparation du fil sont inclus.

Stade de production du fil : le filage du fil à partir de filaments et de fibres discontinues. Différentes techniques de filature sont prises en considération (filature humide et filature de coton), ainsi que les pertes induites par ces processus. Le transport de la préparation du fil à la préparation du tissu est également inclus.

Étape de production du tissu : tricoter et tisser le fil en tissu. Deux techniques de tricotage différentes sont prises en compte (circulaire et plat), ainsi que les pertes induites par ces processus. Le transport de la production de tissus à la teinture et à la finition est également inclus. La teinture et le finissage couvrent le blanchiment et la teinture du tissu ainsi que le finissage du tissu. Le transport de la teinture et de la finition à l'assemblage est inclus.

Étape d'assemblage : tricotage et couture de tissu en produits vestimentaires. Les pertes potentielles résultant de ces processus sont incluses. La distribution couvre le transport des produits vestimentaires depuis leur lieu d'assemblage jusqu'aux magasins de détail.

Et après cela, la phase de distribution, tout aussi importante, et les phases de sous-considération, de maintenance et de recyclage.

1.2. Enjeux majeurs de la chaîne de valeur T&C : pollution, émissions de C02, déchets chimiques et textiles, questions relatives aux droits de l'homme

En 2015, les émissions de gaz à effet de serre provenant de la production de textiles s'élevaient à 1,2 milliard de tonnes d'équivalent CO2, soit plus que les vols internationaux et le transport maritime combinés (Ellen MacArthur Foundation Summit, 2017 [1]). Ces émissions de gaz à effet de serre se

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

produisent partout dans le monde et proviennent de nombreux secteurs économiques, dont l'agriculture, l'industrie textile et le secteur de la distribution. Selon JRC (2014), 51 % de l'impact total des textiles sur le changement climatique se produit dans la phase de production, 44 % dans la phase d'utilisation et 5 % sont dus au transport. L'impact du changement climatique pendant la phase d'utilisation est causé par l'utilisation de détergents, le lavage, le séchage et le repassage, chacun contribuant pour une part égale d'environ 25 % de l'impact total de la phase d'utilisation.

Le secteur textile, y compris l'industrie de la mode, a une empreinte environnementale importante tout au long de sa chaîne de valeur.

L'industrie textile est à elle seule responsable d'un cinquième de la pollution totale de l'eau dans le monde. Pour cette raison, les écologistes et les cosmopolites s'enracinent vers l'impression textile durable et à cause de cela, l'impression textile numérique commence à être le choix. De plus, comme le 21e siècle est l'ère de l'information, les clients sont conscients des différents problèmes rencontrés par l'industrie textile qui ont un impact sur leur comportement d'achat. Pour séduire ce type de clientèle aux besoins spécifiques, un système centré sur le client offre divers avantages.

L'industrie textile peut également avoir d'énormes impacts sociaux, comme l'a prouvé l'incident catastrophique du Rana Plaza (avril 2013) au Bangladesh lorsqu'une usine textile s'est effondrée, tuant plus d'un millier de travailleurs. La communauté mondiale a été choquée par les salaires extrêmement bas et les conditions de travail dangereuses répandues dans l'industrie textile en Asie et dans le monde (The Eionet Report - 2019 [2]).

1.3. Impact de la mondialisation sur les chaînes de valeur en Europe et en Tunisie

L'industrie mondiale a subi plusieurs migrations de production et une transformation des configurations de réseau de production au cours des 30 dernières années. Au fur et à mesure que les réseaux de production et d'approvisionnement évoluaient et s'étendaient à différentes régions du monde, ils incarnaient différents types de structures de gouvernance et d'opportunités de mise à niveau dans la chaîne de valeur de l'habillement.

L'industrie T&C a été la première exposée à ces changements qui ont eu pour conséquence de briser les chaînes de valeur dans de nombreuses régions et pays, provoquant de grandes pertes de compétitivité des parties restantes de la chaîne de valeur. La criticité de la situation qui en résulte a été accentuée par les problèmes d'approvisionnement en produits T&C stratégiques lors de la récente crise du Covid. Ces problèmes étaient apparus au début des années 2000 au Royaume-Uni d'abord et dans d'autres endroits plus tard, mettant en péril la survie de nombreux clusters T&C, notamment dans l'UE. Certaines initiatives visant à reconstruire une partie de la chaîne de valeur T&C détruite, initiées au Royaume-Uni dans les années 2010 et d'autres tentatives de reconstruction de la chaîne de valeur du coton en Grèce ou de la chaîne de valeur du chanvre en Roumanie, faites par le réseau TCBL plus récemment, montrent des voies possibles pour répondre à cette évolution.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La Chine et l'Inde sont les grands gagnants. Ils ont accru leur position dominante dans toutes les grandes économies industrielles (États-Unis, Union européenne et Japon). La Chine a également diversifié sa portée à l'exportation en gagnant du terrain dans bon nombre des principales économies émergentes du monde, comme la Russie pour les produits finis, et l'Inde, le Brésil et la Turquie pour les biens intermédiaires, tels que les textiles. D'autres économies en développement ont également progressé dans l'ère post-AMF, comme le Bangladesh, l'Inde, le Vietnam et l'Indonésie. Mais les fournisseurs régionaux ont été durement touchés, notamment le Mexique et le CAFTA-DR en Amérique du Nord, et les fournisseurs d'Europe de l'Est et d'Afrique du Nord vers l'Union européenne comme la Tunisie ou le Maroc. (Rapport Banque mondiale).

La Tunisie garde une place pour les pays européens. La **Tunisie** fait partie des 15 premiers fournisseurs de vêtements au monde et a l'avantage d'être proche du **marché** européen. C'est le cinquième fournisseur de l'Union européenne, ainsi que le premier fournisseur de pantalons de l'UE. Les autres produits importants sont les vêtements de travail et la lingerie. Ils commencent à avoir un savoir-faire confirmé et des délais courts et respectés.

Le secteur Habillement & textile se positionne comme une pierre angulaire de l'industrie tunisienne et garde une place importante dans l'économie nationale tout en conservant une forte contribution à l'équilibre socio-économique du pays. On peut parler de six catégories de l'industrie principale : **1. Filature 2. Tissage, 3. Ennoblissement, 4. Bonneterie 5. Habillement 6. Diverses autres industries connexes (accessoires…) ?**

1.4. Reconstruire une chaîne de valeur : analyse de rentabilisation du coton grec

La Grèce a une longue tradition ancestrale de production de coton, elle représente aujourd'hui l'essentiel de la production européenne. Pendant des siècles, la production de fibres agricoles, de fils et de tissus de coton ainsi que l'assemblage de vêtements en coton ont été réalisés localement. En un peu moins de quarante ans, la mondialisation a pris le dessus et cette chaîne de valeur locale a progressivement disparu. En effet, même si la production de fibres se poursuivait, le coton était exporté majoritairement sous forme de balles tandis que la filature, le tissage et les grandes chaînes de montage de la mode rapide peuplaient la Chine et seule la production artisanale de haut savoir-faire subsistait en Grèce. Un marché autrefois autosuffisant a disparu en quelques décennies. Cependant, après des années de lobbying, la cause écologique a finalement atteint son objectif de changer les mentalités et les comportements des consommateurs dans les pays occidentaux d'abord et maintenant dans les pays en développement également. L'industrie T&C ne peut pas échapper à cette tempête et un changement de marché centré sur le client dans sa chaîne de valeur est nécessaire. Dans ce nouveau contexte, certains projets comme TCBL ont cherché à dynamiser à nouveau la chaîne de valeur avec des technologies et des valeurs durables. C'est ainsi qu'est né le projet de reconstruction de l'ancienne chaîne de valeur locale du coton. C'était une opportunité pour tous les acteurs grecs de cette filière de créer des produits cotonniers grecs et durables que l'on peut qualifier de produits de niche à plus forte valeur ajoutée (cf partie 2 de ce chapitre). Pour concrétiser ce projet, la première

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

chose qui a été faite a été de produire un coton répondant aux attentes exigeantes du marché : des fibres de haute qualité (longues et résistantes) avec un processus de production vert avec moins ou pas d'engrais, moins d'eau, et moins d'énergie. Grâce à une société d'égrenage soucieuse de respecter ce cahier des charges, le projet a vu le jour. La deuxième phase consistait à trouver un producteur de fil. En effet, le principal problème est qu'il n'y a pas de demande de coton égrené localement, et la quasi-totalité du coton égrené doit être exportée vers le marché mondial, où le principal critère dans ce monde de production et de mode rapides est le prix. Ainsi, alors que les consommateurs attendent des produits de qualité, les courtiers ne leur donnent aucune incitation par les prix. Par conséquent, la reconnexion de l'industrie du fil restante à celle de l'égrenage en Grèce était une partie essentielle et peut-être la plus difficile du projet. Lorsque la connexion entre les producteurs de fil et les fabricants d'égrenage a été établie, un nouveau produit qualitatif a été créé, et il a attiré des acteurs de la prochaine étape de la chaîne de valeur, comme une entreprise grecque de mode de luxe qui est également un producteur de tissus. Ainsi, une fois filés lors de la phase de filage, les fils de coton étaient envoyés à l'usine de tricotage du producteur de tissus. Ce producteur étant capable de traiter dans des délais très restreints une courte série d'échantillons complètement nouveaux en dehors du reste de la production, a permis la création d'un tissu de coton naturel grec entièrement traçable qui présentait un avantage concurrentiel mais remplissait également des critères pour être considéré comme un produit de niche. Pour ajouter encore plus de valeur, le processus de teinture et de finition a été effectué dans une petite usine à Athènes ; cependant, cette phase nécessitait un peu de polissage car le produit raffiné créé lors de la phase de tissu était malheureusement terni par les additifs et les substances artificielles nécessaires pour le teindre car aucune teinture naturelle évolutive durable n'était disponible. Enfin, l'entreprise de mode grecque a su avec son savoir-faire sublimer le coton naturel raffiné pour mieux convaincre ses clientes de l'unicité de ses collections et de sa forte conformité aux préoccupations de durabilité. Grâce à cette analyse de rentabilisation simple, l'idée d'un marché autrefois autonome a été ressuscitée et des produits attrayants dotés d'un avantage concurrentiel distinctif ont été créés tout au long de la chaîne de valeur qui a été reconnectée et reconstruite grâce à la traçabilité et à la mise en œuvre d'un attestation spécifique. Ce coton grec rapidement promu comme le coton naturel européen, pourrait bientôt devenir le coton naturel méditerranéen : cela montre à quel point une niche peut se développer. Les possibilités infinies de transfert et de réplication de cette stratégie vers d'autres fibres naturelles (chanvre) et d'autres régions (Méditerranée - ou Nord-Est de la Roumanie pour le chanvre) démontrent comment à partir d'une base limitée d'acteurs engagés et fiables, il est possible de créer des produits de valeur unique. qui contribuent à la reconstruction de chaînes de valeur efficaces.

1.5. D'une industrie linéaire à une industrie circulaire : vers des chaînes de valeur T&C circulaire

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

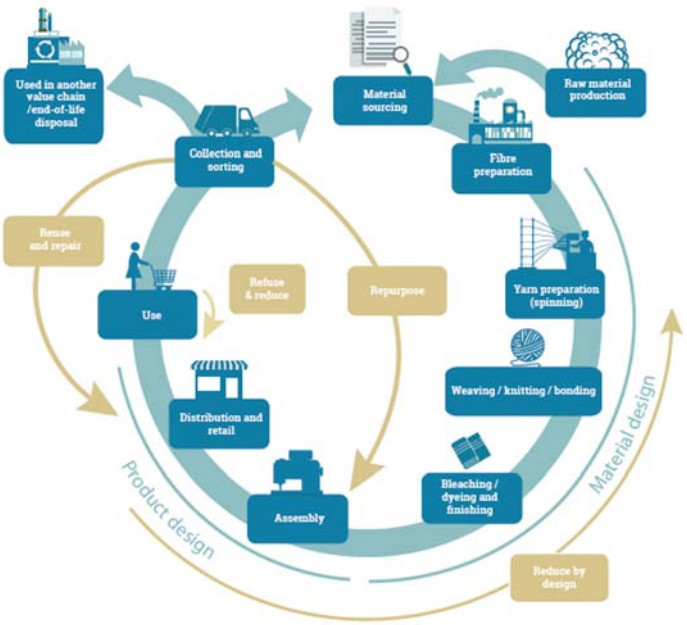


Figure 2 : La chaîne de valeur circulaire de T&C

1.6. Complexité et opacité dans les chaînes d'approvisionnement et les réponses blockchain

La complexité des chaînes d'approvisionnement au sein de l'industrie textile reste un défi majeur et de nombreux efforts sont déployés afin d'assurer la transparence et la traçabilité dans le secteur. L'audit social par les agences de contrôle est souvent limité aux opérations des acteurs de premier niveau, tandis que les acteurs situés plus en aval de la chaîne d'approvisionnement restent relativement invisibles et sont beaucoup plus difficiles à identifier et à contrôler (Commission européenne, 2017 ; Aets, 2016). Cependant, les problèmes majeurs concernent toujours les acteurs de troisième niveau. Les principales initiatives de l'UE, telles que le plan directeur pour la coopération sectorielle en matière de compétences, visent à développer une coopération stratégique entre les principales parties prenantes des secteurs du textile, de l'habillement, du cuir et de la chaussure. La complexité des chaînes d'approvisionnement au sein de l'industrie textile reste un défi majeur et de nombreux efforts sont déployés afin d'assurer la transparence et la traçabilité dans le secteur. L'audit social par les agences de contrôle est souvent limité aux opérations de premier niveau, tandis que les acteurs situés plus en aval de la chaîne d'approvisionnement restent relativement invisibles et sont beaucoup plus difficiles à identifier et à contrôler (Commission européenne, 2017 ; Aets, 2016). Cependant, les problèmes majeurs concernent toujours les acteurs de troisième niveau. Les principales initiatives de l'UE, telles que le plan directeur pour la coopération sectorielle en matière de compétences, visent à développer une coopération stratégique entre les principales parties prenantes des secteurs du textile, de l'habillement, du cuir et de la chaussure.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'étape de traitement par voie humide de la production textile (blanchiment, teinture et finition) est liée au respect des impacts sur le climat, la santé humaine et la qualité des écosystèmes. Cela est dû à la forte utilisation d'énergie dérivée de combustibles fossiles et de produits chimiques dangereux dans ces processus. Améliorations de l'efficacité des processus (y compris l'augmentation de l'efficacité des ressources grâce à la récupération des produits chimiques dans les flux d'effluents, la mise en œuvre de processus en boucle fermée et le recyclage des rejets et des chutes), l'utilisation de sources d'énergie propres et l'interdiction des produits chimiques dangereux (ou l'application de restrictions législation sur les substances) sont des mesures qui doivent être prises.

La production textile, en particulier la phase d'assemblage, est associée à des risques sociaux élevés. Le respect des droits de l'homme est l'enjeu majeur de cette étape. Comme pour la production de fils et de tissus, ces problèmes sont liés aux conditions de travail dangereuses, aux bas salaires et à la mauvaise application, voire à l'absence, de la législation protégeant les droits des travailleurs et des femmes.

Une approche holistique et un changement systémique sont nécessaires, impliquant les parties prenantes à grande échelle et pas seulement de l'industrie de la mode, pour surmonter tous les défis technologiques et économiques. Parmi les différents secteurs textiles, l'industrie de la mode commence à prendre différentes initiatives pour améliorer la durabilité de ses chaînes d'approvisionnement et de ses processus. Les priorités à court terme sont la réduction de l'impact négatif sur l'environnement : mesures d'efficacité pour réduire la consommation d'eau, d'énergie et de produits chimiques, et l'impact social négatif lié à la traçabilité de la chaîne d'approvisionnement et aux conditions de travail. L'objectif à long terme est la transformation de l'industrie en un système circulaire, embrassant les opportunités de la numérisation et le développement de fibres durables (Global Fashion Agenda, 2019).

Du fait de ces caractéristiques et de la revendication des consommateurs finaux, relayée par les acteurs de la chaîne de valeur en contact avec eux, pour plus de transparence et de traçabilité des matières premières et des processus de production, on peut s'attendre à ce que T&C devienne un champ privilégié d'exploitation des technologie blockchain pour valoriser les produits T&C en les enrichissant d'un historique détaillé de leur production prouvant leur conformité aux règles écologiques et sociales.

1.7. L'avenir de la chaîne de valeur dans la perspective de l'Industrie

Le terme « industrie 4.0 » désigne la quatrième révolution industrielle (après la machine à vapeur, la production de masse et l'introduction de l'électronique). Il représente l'intégration technique des systèmes dits cyber-physiques (CPS) dans la production et la logistique, l'utilisation d'Internet dans les processus industriels et les conséquences que cela a sur la chaîne de valeur ajoutée, les nouveaux modèles commerciaux et la transformation ultérieure. Et services. Ces CPS sont des capteurs et des

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

acteurs en temps réel qui peuvent également être exploités via Internet. Les sujets suivants doivent être mis en pratique au sein de l'industrie 4.0 :

- Intégration horizontale le long des réseaux à valeur ajoutée,
- Perméabilité numérique de l'ingénierie tout au long de la chaîne de valeur ajoutée, et
- Intégration verticale et systèmes de production réticulés.

Exemple : **Perspectives offertes par l'impression numérique**

Demande du marché de l'impression durable : les vêtements durables sont la nouvelle USP que tout le monde veut exploiter. La tendance est essentiellement centrée sur le client car avec la prise de conscience croissante des cosmopolites sur les dommages environnementaux causés par l'industrie textile, les marques se concentrent sur la réduction de leurs polluants et se réorientent vers l'impression textile numérique.

Possibilités de conception étendues : avec un logiciel de conception textile idéal, les possibilités de conception sont presque infinies. Non seulement vous pouvez imprimer sur de nombreux types de tissus tels que la soie, le coton et autres, mais il est possible de créer n'importe quel type de design avec de multiples combinaisons de couleurs et de l'imprimer facilement et rapidement sur le tissu de votre choix.

Faible investissement en capital : par rapport aux méthodes de teinture et d'impression conventionnelles, l'installation d'une installation d'impression textile numérique nécessite beaucoup moins d'espace et de ressources.

Échantillonnage rapide et impression à la demande : De plus, l'un des plus grands avantages de l'utilisation de méthodes d'impression numérique est d'exécuter des commandes personnalisées et personnalisées en très petites quantités. Il s'agit d'un modèle commercial d'impression à la demande.

Moins de gaspillage : dans les méthodes d'impression textile numérique, il n'y a pas d'écrans ou de plaques à produire pour la sérigraphie ou l'impression rotative et les besoins en équipement sont beaucoup plus faibles car il n'y a pas de perte d'encre pour une production personnalisée et sur mesure.

Nous sommes au milieu d'une transformation importante de la façon dont nous produisons des produits grâce à la numérisation de la fabrication. Cette transition est si convaincante qu'elle est appelée Industrie 4.0 pour représenter la quatrième révolution qui s'est produite dans le secteur manufacturier. De la première révolution industrielle (mécanisation par l'eau et la vapeur) aux chaînes de production de masse et d'assemblage utilisant l'électricité dans la seconde, la quatrième révolution industrielle reprendra ce qui a commencé dans la troisième avec l'adoption des ordinateurs et de

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

l'automatisation et l'améliorera avec des technologies intelligentes. et des systèmes autonomes alimentés par les données et l'apprentissage automatique.

Le monde est au seuil d'une nouvelle révolution industrielle caractérisée par l'intelligence artificielle, l'Internet des objets, la robotique de nouvelle génération, l'impression 3D, les vêtements et l'ingénierie douce, la nanotechnologie, les matériaux avancés, la biotechnologie et autres. L'industrie 4.0 est l'avenir des technologies de fabrication et est une tendance de plus en plus importante de l'automatisation et de l'échange de données. Cette technologie améliorée, ces systèmes numériques et ces processus automatisés en feront un produit optimal pour la fabrication de produits de qualité. L'industrie 4.0 comprend les systèmes cyber-physiques, l'Internet des objets, l'informatique en nuage et l'informatique cognitive qui créent ce que l'on définit comme une « usine intelligente ».

Textile 4.0 est une interprétation et une application de la révolution industrielle 4.0 dans les secteurs de la technologie textile et de la fabrication textile tout au long de la chaîne d'approvisionnement dans la filature, le tissage, la finition et la confection.

Il permet aux produits connectés intelligents de servir de base technologique pour intégrer de nouveaux modèles commerciaux ou des modèles commerciaux basés sur les données dans les textiles et ainsi exploiter de nouvelles sources de revenus. Les produits textiles intelligents recèlent un grand potentiel de croissance.

L'industrie 4.0 conduira à la virtualisation et à la modularisation du processus de production et de la chaîne d'approvisionnement, en obtenant la flexibilité et la personnalisation de la production basée sur CPS avec ERP, MES, PLM, SCM et d'autres systèmes logiciels. CPS peut surveiller le processus de production et réaliser une prise de décision décentralisée et s'auto-optimiser.

1.8. Autres innovations et tendances modifiant la chaîne de valeur T&C

Dans l'industrie textile, l'un des principaux axes de la numérisation est la conception de chaînes de processus textiles flexibles et autonomes au sein d'entreprises ou de réseaux à valeur ajoutée. Les machines textiles modernes ont des interfaces ouvertes, sont très flexibles et sont capables d'ajuster leur statut en fonction des informations fournies par les plateformes. Les produits textiles semi-finis tels que les canettes, les bobines ou les ensouples portent les informations pour une flexibilité de production accrue (objets intelligents). En utilisant les interfaces ouvertes des machines textiles, de nouveaux systèmes de planification de la production pour une chaîne de processus intégrative et auto-optimisant pour la fabrication multi-échelles et additive de produits textiles peuvent être conçus.

Au niveau du processus, les machines sont capables de s'optimiser. Ils peuvent ensuite concevoir indépendamment des modèles de processus et également déterminer un point de fonctionnement optimal dans des conditions aux limites données. Un exemple typique est le concept AUTOWARP développé à l'Institut für Textiltechnik de l'Université RWTH d'Aix-la-Chapelle, en Allemagne, où des

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

capteurs sans fil et compatibles avec le Web sont déjà utilisés pour le contrôle des paramètres de traitement pendant le tissage par jet d'air.

1.9. Exemples d'applications informatiques innovantes dans la chaîne de valeur T&C:

Transfert d'informations numériques

- Modélisation/dessin du croquis du vêtement au format 3D,
- Examen du modèle dans un environnement numérique supporté par les technologies de réalité virtuelle,
- Envoi des dessins/repères du produit au système de découpe via un réseau sans fil dans un environnement numérique utilisant l'infrastructure de la technologie cloud,
- Protéger les appareils industriels contre les menaces de cybersécurité, tout en mettant en œuvre le transfert d'informations numériques en établissant une communication de données fiable sur une infrastructure réseau sécurisée et flexible.

Fabrication intelligente

Application **RFID** dans l'industrie **textile** La technologie **RFID** peut être utilisée pour construire des systèmes destinés à l'identification automatique d'objets étiquetés. Dans le secteur **textile**, il permettra un contrôle strict des processus de production et de stockage/vente. La meilleure chose à propos de la technologie **RFID** est qu'elle est fonctionnelle, sans qu'il soit nécessaire de visualiser l'étiquette par l'interrogateur.

- Les lecteurs RFID placés dans chaque poste de production sont intégrés au système. En lisant l'étiquette RFID d'un produit, les informations sur l'endroit où les boutons doivent être placés ou le type de bouton sont reçues et l'opération du bouton est effectuée via les systèmes cyber-physiques sur la base de ces informations.
- En lisant l'étiquette RFID d'un vêtement, les informations sur la température de l'eau pour l'opération de lavage et la température optimale pour l'opération de repassage sont obtenues, et les machines règlent automatiquement les degrés pour les opérations de lavage et de repassage sans aucune interaction homme-machine.

Automatisation de la chaîne d'approvisionnement

Les fournisseurs sont considérés comme des ressources essentielles pour les détaillants de textile/habillement. Ils doivent être gérés pour tirer le maximum de potentiel de la chaîne d'approvisionnement, et la sélection du fournisseur est la tâche la plus critique de la gestion de l'approvisionnement.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Par exemple, la capacité de l'automatisation à modifier les volumes de commandes et à modifier la combinaison d'articles commandés (style, couleur, taille, etc.) est très importante dans l'industrie de la mode. La capacité à gérer les commandes à réponse rapide (QR) est un critère important, mais surtout dans la catégorie des costumes où les tissus ont de longs délais de livraison, il est souvent impossible de mettre en œuvre le système QR. La volonté d'aller dans d'autres pays pour créer des coentreprises ou des alliances stratégiques à poursuivre pour des avantages commerciaux et de coûts est un autre critère important lors de l'élargissement de la base de fournisseurs. L'une des dimensions de l'innovation est d'avoir une équipe de conception interne pour soutenir l'entreprise acheteuse avec de nouvelles idées et détails selon les dernières tendances du marché. Il est important que le vendeur ait une idée claire de l'esthétique du concepteur de l'entreprise acheteuse et l'exécute correctement sur le produit.

Technologie portable

La technologie portable est une grande évolution. La technologie portable a de nombreuses applications extensibles, avec un énorme potentiel de croissance à des niveaux gigantesques d'innovation La technologie portable est à la pointe de l'Internet des objets (IoT), car elle a été rapidement adoptée dans les appareils intelligents et les ordinateurs.

Méthodologie de la chaîne d'approvisionnement agile

La démarche entreprise pour agile est une démarche itérative. Ce qui signifie que chaque fois que de nouveaux développements ou toute forme d'exigence sont découverts ou nécessaires, ils sont ajoutés au logiciel. La chaîne d'approvisionnement agile est un terme très basique pour comprendre et comprendre le flux de biens et de services. Il peut s'agir de différents types de biens et de services.

- Construire une équipe agile. La pensée agile est venue des développeurs de logiciels. La méthode agile est un projet alternatif ...
- Récompensez l'efficacité – et tolérez l'échec. L'expérimentation est au cœur de l'agilité. Et l'esprit d'expérimenter seulement...
- Construire des contrats fournisseurs agiles. Une chaîne d'approvisionnement flexible a toujours exigé la redondance.

Création de communauté et réseaux sociaux

Les réseaux sociaux peuvent être décrits et analysés en termes de leurs diverses caractéristiques (combien de personnes ou d'organisations appartiennent à un réseau, à quel point les membres du réseau se connaissent et à quel point leurs relations sont égales).

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les outils des médias sociaux électroniques, tels que Facebook et Twitter, peuvent être utilisés pour suivre, soutenir, créer et mobiliser les réseaux sociaux ; ces outils ont un potentiel important pour améliorer les efforts d'engagement communautaire.

Les réseaux sociaux peuvent être un facteur clé pour déterminer la santé d'une communauté.

Comprendre les réseaux sociaux d'une communauté est essentiel en raison de leur potentiel d'affecter la santé, les préférences, la sensibilisation et l'engagement de la population. Les réseaux sociaux peuvent également donner accès à une communauté et générer une connaissance de ses caractéristiques.

Amélioration des capacités grâce au cloud

Choisir le bon outil d'approvisionnement Permettre à une organisation d'atteindre son plein potentiel commence par la gestion des dépenses. Le contrôle et la gestion des coûts d'achat permettent d'acquérir des biens et des services d'un bon rapport qualité-prix et de réduire les coûts superflus. Le moyen le plus efficace d'optimiser la fonction d'approvisionnement consiste à automatiser les principaux processus d'approvisionnement. L'adoption des bons outils et techniques d'approvisionnement permet aux entreprises d'obtenir des informations en temps réel sur le cycle d'approvisionnement et de prendre des décisions éclairées en matière d'approvisionnement et d'achat.

1.10. Conclusion sur les chaînes de valeur

Les principaux problèmes restent les impacts environnementaux et sociaux des textiles tout au long de la chaîne de valeur. La plupart d'entre eux sont fabriqués dans des endroits où les prix de la main-d'œuvre sont les plus bas. Le résultat est que les textiles sont principalement fabriqués dans des pays où les investissements et l'emploi sont les plus nécessaires, mais où les réglementations protégeant les travailleurs et l'environnement sont les plus faibles.

Actuellement, de nombreux efforts sont encore déployés pour optimiser davantage le système linéaire actuel. Le passage à un système circulaire pour les textiles nécessite un changement systémique fondamental tout au long de la chaîne de valeur des textiles soutenu par des politiques adéquates. L'innovation technologique est nécessaire pour améliorer l'efficacité et réduire les impacts environnementaux, mais l'innovation sociale et le progrès en termes de conditions de travail, d'égalité et de justice sociale sont également nécessaires, ainsi qu'un changement vers de nouveaux modèles et politiques d'entreprise et la fourniture de meilleures informations qui permettent et encourage les consommateurs à faire des choix durables.

L'évolution vers des textiles durables et circulaires nécessitera des transformations à chaque étape de la chaîne de valeur, impliquant des acteurs de toutes tailles et de tous segments de marché.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'utilisation de substances dangereuses dans le traitement des textiles doit être éliminée, et les ressources devront être utilisées de manière beaucoup plus efficace, avec une transition des combustibles fossiles vers des sources d'énergie et des matériaux renouvelables. Les textiles durables et circulaires demanderont de nouvelles façons de faire des affaires, mais offriront une industrie qui profite aux entreprises, à la société et à l'environnement.

2. Les marchés de niche : une base pour les stratégies d'opportunité et l'innovation

À mesure que le pouvoir d'achat augmente, les gens ont tendance à acheter plus de vêtements : c'est le cas en France où les gens achètent en moyenne 9,5 kg de vêtements neufs par an [3], ce qui représente une augmentation de la consommation de 60 % au cours des 15 dernières ans [4]. Cela pourrait être le résultat d'un comportement plus sociologique, car les vêtements sont la première chose que l'on peut repérer et élaborer un jugement sur, "Les vêtements peuvent signaler de nombreux aspects de l'identité sociale d'une personne, y compris le statut socio-économique, le sexe, la religion et la profession" [5] qui amène les gens à être prudents lorsqu'ils achètent et portent leurs vêtements. Les marchés sont de plus en plus orientés client ; la mode ne fait pas exception. Les clients recherchent des vêtements qui les représentent, auxquels ils s'identifient et qui sont personnalisés. Ainsi, la nécessité pour les entreprises de l'industrie de la mode et en général de toute la chaîne de valeur du textile et de l'habillement, de mettre en place des stratégies axées sur une ou quelques niches de marché ainsi que de créer des produits spécifiques pour séduire une clientèle unique (le marketing de niche).

2.1. Définition

Dans un contexte commercial, une niche est définie comme "une opportunité pour une entreprise d'offrir un produit ou un service qui n'est pas offert par d'autres entreprises"[4] [6]. L'idée principale derrière cette définition est que l'opportunité provient d'un écart perçu entre l'offre sur le marché et la demande du client, en couvrant cet écart, une entreprise saisit l'opportunité de sécuriser le client qui ne se sent pas satisfait des produits ou services existants. La deuxième pensée fondamentale de cette définition est un besoin de quelque chose de nouveau, cela peut être un service ou un produit, mais dans les deux cas, un processus d'innovation ou de recherche doit se produire pour répondre à la demande du client.

Selon Kotler[5] [7], un marché de niche est un marché dans lequel les clients ont un ensemble distinct de besoins et sont prêts à payer un prix supérieur à une entreprise qui répond à leurs besoins. Cette

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

entreprise est capable de réaliser des économies en se spécialisant dans le créneau qui a un potentiel de taille, de croissance et de profit même s'il n'attire pas de concurrents au départ.

Pour Chalasani et Shani, le concept de marketing de niche est un processus créatif ascendant réalisé pour répondre à un besoin client unique et, à partir de là, créer une clientèle plus large. Cependant, de nombreux spécialistes du marketing envisagent une autre approche considérée comme plus traditionnelle, pour eux le marketing de niche est l'étape finale d'un processus de segmentation, "se déroulant dans les étapes séquentielles suivantes : segmentation, ciblage, positionnement et niche"[6][8]. Pour comprendre cette approche top-bottom, il est essentiel de maîtriser le concept de segment de marché. Un segment de marché est un ensemble de personnes partageant des caractéristiques communes. Cinq critères principaux permettent d'identifier les différents segments de marché au sein d'un marché plus vaste :

- Démographie, y compris l'âge du consommateur, la taille du marché, etc.
- Critères socio-économiques tels que le type d'emploi, le niveau d'éducation du consommateur final
- Critères psychographiques tels que les valeurs, la personnalité, les intérêts du consommateur final
- La géographie doit être prise en compte, d'une perspective rurale à une perspective urbaine.
- Comportement d'achat du consommateur : attitude envers le produit, connaissance, achat compulsif…

Le marketing de niche étant la dernière étape du processus de segmentation, une niche est différente d'un segment de marché en termes de taille, elle est évidemment plus petite, et elle se concentre sur un besoin spécifique que certains individus indépendants d'un groupe homogène ont.

A titre d'exemple, le marché de l'habillement est l'un des plus gros marchés au monde aujourd'hui : il représente 1,5 trillions de dollars US. Cependant, cet énorme marché mondial comprend différents types de marché tels que les chaussures, les vêtements de cérémonie, les vêtements de sport, les vêtements décontractés et bien d'autres. Le consommateur final peut être un homme, une femme, un autre sexe ou un enfant. Certains consommateurs pourraient également rechercher des produits fabriqués dans leur pays pour aider l'économie locale. On peut aller plus loin dans l'analyse et rechercher un produit durable fabriqué avec une fibre particulière respectant des valeurs particulières. Ce processus consistant à approfondir de plus en plus le marché ou, comme certains pourraient le dire, à diviser le marché mondial en marchés plus petits, gérables et homogènes, regroupant des consommateurs partageant des caractéristiques identiques, s'appelle la segmentation du marché.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.2. Approche marketing de créneaux spécifique de Parrish pour l'industrie du textile et de l'habillement

Parrish[7] [9] a étudié des créneaux dans l'industrie américaine du textile et de l'habillement, ses recherches ont créé une nouvelle approche articulée autour de trois mots clés : marché, produit et stratégie.

Pour Parrish, il existe deux façons d'examiner une niche pour élaborer une stratégie. La première est de reconnaître l'écart entre l'offre existante sur un marché et une demande précise et individualiste d'un ou d'un ensemble de consommateurs. Grâce à une analyse approfondie du marché et de ses consommateurs, une entreprise peut être en mesure de trouver un marché et, à partir de là, de développer un produit qui comble le vide existant, créant ainsi un marché de niche. Parrish qualifie cette approche de marketing d'attraction : le marché aspire à un produit et une entreprise le livre.

La deuxième façon d'envisager une niche consiste à créer un nouveau produit unique qui crée un nouvel ensemble de besoins dont le consommateur n'était même pas conscient. Ensuite, l'entreprise positionne son produit unique dans un segment de marché et crée une niche. Cette approche est appelée marketing poussé car l'entreprise pousse son produit sur le marché à travers la chaîne d'approvisionnement en espérant que les consommateurs comprendront son objectif et découvriront leur nouveau besoin inattendu, créant ainsi une niche.

Au cours de ses recherches, Parrish a souligné le fait que les entreprises en amont de la chaîne d'approvisionnement de l'industrie du textile et de l'habillement, telles que les producteurs de fibres et de fils, ont tendance à se concentrer davantage sur une approche de marketing poussé, car les caractéristiques du produit sont le principal avantage concurrentiel que ces entreprises recherchent. De plus, pour se différencier de leurs concurrents, les entreprises en amont investissent leurs efforts et leur argent dans la recherche et le développement, ainsi que dans l'innovation et les nouvelles technologies et machines. Par conséquent, les produits sont développés et les niches sont principalement trouvées par essais et erreurs. D'autre part, les entreprises situées en aval ont tendance à surveiller les tendances de consommation, principalement avec des analyses de marché ou des entretiens ou des retours clients, il est donc logique qu'elles utilisent le plus souvent une approche de marketing d'attraction. Cependant, ces deux approches peuvent être utilisées simultanément et, à un moment donné, toutes les entreprises de l'échantillon étudié par Parrish l'ont fait.

2.3. Pourquoi les créneaux sont-ils attrayants ?

Les marchés de niche sont attrayants pour de nombreuses raisons. Tout d'abord, les bénéfices ont tendance à être plus importants dans les niches que sur les marchés mondiaux, en effet, il a été constaté par le Strategic Planning Institute dans son étude "Profit Impact of Marketing Strategy" que

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

le retour sur investissement moyen sur des marchés plus petits, tels que les marchés de niche marché, est de 27% alors qu'il n'est que de 11% dans les plus grands.

De plus, plus la niche est petite, plus il est difficile pour les grands acteurs des grands marchés de rivaliser sur celle-ci. Si la première entreprise qui découvre la niche protège ses produits, surtout la technologie utilisée aussi bien qu'élaborée pour la niche et fédère les clients, elle érige des barrières à l'entrée élevées.

Un autre point fort des niches est le comportement des clients, une fois la niche découverte et encore balbutiante, les clients sont indulgents et heureux de contribuer au développement des produits par des retours d'expérience et même en développement collaboratif. De plus, les premiers clients qui verront leur besoin enfin satisfait seront également de fervents défenseurs de l'entreprise, ils la défendront et feront également la promotion de produits de bouche à oreille qui aideront la niche à se développer.

Les niches peuvent également être considérées comme un moyen de survie pour un grand nombre d'entreprises. En effet, pouvoir compter sur une clientèle fidèle sur un marché peu ou pas concurrent où un prix premium peut être pratiqué sans que cela soit un enjeu est une mine d'or et un formidable moyen pour les entreprises en mauvaise posture de survivre.

D'un autre côté, les niches sont également un excellent moyen de démarrer une entreprise car la création d'un avantage concurrentiel durable est plus facile tout en se concentrant sur un besoin client spécifique ou sur un produit spécifique. Cela permet également à l'entreprise de construire des relations durables avec les consommateurs et donc une clientèle fidèle dont l'intérêt doit être au cœur de la vision de l'entreprise.

Cependant, les créneaux représentent également un défi car ils peuvent disparaître si les préférences des consommateurs changent. De plus, si la niche est attractive, elle attirera divers acteurs. Les niches étant la première étape du cycle de vie d'un marché, les concurrents vont essayer d'entrer dans la niche avant que le marché ne grossisse trop et ne mûrisse. Plus important encore, en raison de la taille d'une niche, une guerre des prix pourrait finir par détruire la niche. Un autre point important est qu'une entreprise qui offre des produits ou des services à une niche doit le faire avec précaution car les nouveaux produits ne doivent pas rendre les précédents obsolètes, sinon les nouveaux produits mangeront le marché des anciens, ce que l'on appelle la cannibalisation. Enfin, le principal défi est la taille du marché de niche lui-même car il doit être suffisamment grand pour être durable, il est bon de croire au potentiel de croissance d'un marché, mais il est encore plus important d'arrêter une activité commerciale qui coûte plus cher qu'il ne produit.

2.4. Un bon créneau ? Lignes directrices pour créer une niche.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Selon Kotler [6], une niche est considérée comme intéressante pour les entreprises ainsi que durable lorsque les critères suivants s'y retrouvent :

- Les clients ont un ensemble distinct de besoins
- Les clients paieront un prix élevé pour satisfaire ces besoins
- Le créneau n'est pas susceptible d'attirer d'autres concurrents
- L'entreprise gagne des économies grâce à la spécialisation
- La niche a un potentiel de taille, de croissance et de profit

Pour réussir dans une niche, Dalgic [7] a mis en place quelques lignes directrices qui peuvent se résumer comme suit :

- Une entreprise doit faire l'effort de connaître son client mieux que quiconque : une entreprise ne doit jamais hésiter à investir dans des systèmes d'information, des médias sociaux qui l'aident à être en contact avec son client et son entreprise pour comprendre ses préférences, des valeurs à séduire à lui. Une niche est axée sur le client, une entreprise doit connaître les tendances impliquées dans sa niche et les suivre.
- Une entreprise doit reconnaître son environnement d'affaires et sa place dans celui-ci. Une entreprise doit connaître ses forces et ses faiblesses, son positionnement, ses compétences distinctives, sa rentabilité et son avantage concurrentiel, mais elle doit aussi connaître celles de ses concurrents.
- Une entreprise doit se protéger de la concurrence ainsi que d'elle-même : plus les barrières à l'entrée sont élevées, mieux c'est pour l'entreprise, elle doit utiliser tous les moyens possibles, une entreprise doit rechercher des brevets, des droits d'auteur, des alliances et du marketing relationnel pour conquérir le marché. Néanmoins, une entreprise ne doit jamais être contemplative et chercher à maigrir, elle doit toujours rechercher d'autres niches avec des synergies potentielles et des gains d'efficacité, cela permet également d'augmenter la clientèle. De plus, évitez la cannibalisation.

2.5. Histoires de réussite de la stratégie de niche dans l'industrie du textile et de l'habillement

Une réussite en marketing poussé

Veja a été fondée en 2005, et elle a commencé par s'attaquer à un segment de marché florissant depuis 20 ans, le marché des sneakers. Pour ce faire, Veja a pris en compte toute la chaîne de valeur des baskets et a créé une basket agroécologique transparente, une niche dans laquelle le consommateur sait tout sur la production du produit et où le produit est vert, cette niche peut être appelée " vert absolu ». Elle implique un développement technologique ainsi que des critères psychographiques. La technologie est un avantage concurrentiel majeur, un écho aux valeurs du consommateur et donc une

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

barrière à l'entrée sur le créneau. Même si ce créneau était sécurisé, grâce au développement technologique, Veja a pu créer du cuir végétalien ainsi que du B-mesh, une nouvelle fibre issue du recyclage de bouteilles en plastique. Cela a permis à la niche de se développer sans ronger l'esprit ainsi que les produits de la niche verte absolue., mais aussi de trouver de nouveaux clients pour lesquels de nouvelles valeurs étaient impliquées comme le véganisme, poussant ainsi un produit dans un nouveau segment de marché et créant un nouveau créneau.

Une réussite du marketing tiré

D'un simple constat que les femmes avaient du mal à trouver des endroits où se changer après les entraînements ou à la plage, l'idée de Undress est née dans l'esprit de Dennis Caco et April Estrada. Ils voulaient créer une robe qui aide à résoudre ce problème pour les femmes actives. Cependant, ils ne pouvaient pas se lancer et investir dans leur produit sans être sûrs qu'il plairait aux consommateurs et que le créneau qu'ils avaient en tête existait réellement. Ils ont donc lancé un financement participatif. Plus de 7000 personnes ont contribué, et Undress a pu démarrer et avait déjà toute une clientèle fidèle. Le succès du financement participatif a permis à la marque Undress d'être exposée dans les médias et de remporter des prix comme le concours shark tank your life sur ABC. En analysant les retours et les commentaires de leurs clients, ils conçoivent de nouveaux vêtements et robes pour répondre aux problèmes auxquels leurs clients sont confrontés et la plupart du temps, ils lancent un nouveau financement participatif qui les aide à mieux connaître l'échelle de production nécessaire ainsi que la niche ciblée.

2.6. Conclusion sur les stratégies de niche

Pour résumer, les stratégies de niche sont des stratégies dominantes et efficaces, principalement adaptées aux PME. Ils exigent un engagement stratégique de long terme, le développement de compétences spécifiques, un ancrage profond sur des marchés exigeants et une politique active de développement et de protection des droits de propriété intellectuelle qui créent des barrières élevées à l'entrée sur la niche. Par sa proximité avec le marché européen, le savoir-faire et les machines existantes de l'industrie T&C interne, sa volonté de développer et de protéger les nouvelles technologies relatives à cette industrie, la Tunisie est une plate-forme parfaite pour attirer ou former des entrepreneurs dans des marchés de niche tels que ceux qui produisent plus de revenus que les larges et la production y est facilement évolutive. De plus, dans ce monde connecté, il est beaucoup plus facile de collecter des données pour obtenir une enquête ou une analyse approfondie du marché qui aide à détecter les tendances ainsi que les niches potentielles. Il est également plus facile de faire de la publicité sur un créneau spécifique via des influenceurs, des médias sociaux et de se connecter avec une communauté d'utilisateurs potentiels dans le monde entier, ce qui est important car au début, un créneau exige une politique d'exportation dynamique en raison de sa petite taille. Les consommateurs sont aussi plus conscients que jamais, les technologies qui leur facilitent la vie, le

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

respect de valeurs particulières comme la durabilité environnementale ou la production équitable sont des critères d'achat et donc de segmentation aussi.

3. Conclusion

La connaissance de la chaîne de valeur ainsi que des stratégies de niche est un grand atout à avoir en main, cela ouvre un nouvel éventail de possibilités et d'opportunités. On peut naviguer sur les tendances de l'industrie T&C et trouver un positionnement intéressant à une ou plusieurs étapes de la chaîne de valeur qui construira l'avantage concurrentiel de l'entreprise sur un marché déjà existant ou en en créant un nouveau, combinant ainsi les deux approches discutées dans ce cours. Les nouvelles technologies, les savoir-faire spécifiques et les modèles commerciaux innovants peuvent fournir les bonnes réponses pour exploiter les défis révélés par l'analyse de la chaîne de valeur dans un contexte spécifique et l'identification des marchés de niche.

Références

[1] Ellen MacArthur Foundation Summit, 2017, [Online] Disponible sur : https://ellenmacarthurfoundation.org/publications/ [Consulté le : Mai 11, 2021].

[2] S. Manshoven et al., Textile and the Environment in the circular economy, Eionet Report - ETC/WMGE 2019/6, November 2019 [Online]. Disponible sur : https://eionet.devel4cph.eea.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-reports/textiles-and-the-environment-in-a-circular-economy [Consulté : Mai 11, 2021].

[3] J. Lopez and E. Bellanger (Dec. 13, 2018). *Pourquoi s'habiller pollue la planète*. Le Monde. [Online] Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=3DdU7c66E9g [Consulté: Mai 12, 2021].

[4] D. Kodžoman, "The psychology of clothing." *Textile & leather review*, vol. 2, no. 2, pp. 90-103, 2019, [Online]. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/331278960_The_psychology_of_clothing_meaning_of_Colors_Body_Image_and_Gender_Expression_in_Fashion [Consulté : Mai 11, 2021].

[5] Dictionary. *MARKET NICHE | meaning in the Cambridge English Dictionary*. Cambridge Dictionary. [Online] Disponible sur : https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/market-niche [Consulté : Mai 11, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[6] P. Kotler, *Marketing Management Millenium Edition*. Prentice Hall, 2000.

[7] T. Dalgic, “Niche Marketing Principles.” *Journal of Segmentation in Marketing*, vol. 2, no. 1, pp. 5-18, 1998

[8] Allen, E. Parrish, N. L. Cassill, and W. Oxenham, “Assessing the validity of a niche strategy model in predicting the potential and success of niche markets and products.” *Journal of the Textile Institute*, vol. 103, no. 8, pp. 900-911, 2012

[9] P. Notten, “Sustainability and circularity in the Textile value chain”, UN Environment Programme, 2020. [Online] Disponible sur : https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/unep_sustainability_and_circularity_textile_value_chain_1.pdf [Consulté : Mai 15, 2021].

[10] D. Shani, S. Chalasani, “Exploiting Niches Using Relationship Marketing”, *Journal of Consumer Marketing*, Vol. 9 No. 3, pp. 33-42, 1992

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Selon vous, où se déroulent la plupart des étapes de production de fils et de tissus de la chaîne de valeur de l'industrie textile ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) En Asie
b) En Europe
c) En Amérique du Nord

Question 2 : Quelle stratégie de niche est principalement utilisée par les entreprises situées en aval de la chaîne d'approvisionnement ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Stratégie de marketing d'attraction
b) Pousser la stratégie marketing
c) Les deux

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Unité 7 Économie durable et circulaire

Traduit par :
Marianna Maglara Morneau (CEDECS-TCBL) (7.1)
Wissem Cheikhrouhou, Mohamed Koubaa, Noura Rmili (CRNS) (7.2, 7.3)

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Sommaire

Sommaire 434

Cours 7.1 Initiatives mondiales de développement durable et empreinte de l'industrie du T&H 436

1. Introduction 436

1.1. De quoi s'agit-il ? 436

1.2. Le contexte 436

1.3. L'importance des questions de durabilité pour l'industrie tunisienne du T&H 437

2. Enjeux & obstacles à surmonter - initiatives pour faire face 439

2.1. Enjeux & obstacles à surmonter 439

2.2. Examen des initiatives mondiales de développement durable dans le textile & habillement 441

3. Durabilité et circularité : pactes, modèles d'affaires, acteurs, cas et solutions 444

3.1. Durabilité – mode durable 445

3.2. Circularité - mode circulaire 449

3.2.1. De quoi s'agit-il ? 449

3.2.2. Solutions innovantes pour une empreinte minimale 451

4. Conclusions 453

Références 454

Questions pour l'évaluation du cours 455

Cours 7.2 Études de cas sur les processus de réingénierie pour la durabilité, la RSE et la qualité 456

1. Durabilité pour les entreprises 456

1.1. Mégatendances dans le scénario 2030 456

1.2. Entreprises et Agenda 2030 456

1.3. Une stratégie d'intégration des ODD dans l'entreprises 457

2. Etude de cas : Eileen Fisher *[6]* 458

3. Etude de cas : Nudie Jeans [*7*] 462

Références 465

Questions pour l'évaluation du cours 467

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 7.3 Économie circulaire et neutralité climatique : un défi du XXIe siècle 468
1. A l'aube d'une décision cruciale pour l'humanité 468
1.1. Ère anthropocène 469
2. Le Protocol de Kyoto 471
2.1. Le mécanisme du protocole de Kyoto 473
3. L'accord de Paris 473
3.1. Les outils pour atteindre ces objectifs 475
4. L'accord vert européen 476
5. Concevoir des produits durables 476
5.1 Textiles 479
Références 481
Questions pour l'évaluation du cours 483

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 7.1 Initiatives mondiales de développement durable et empreinte de l'industrie du T&H

Marianna Maglara Morneau
CEDECS-TCBL

1. Introduction

1.1. De quoi s'agit-il ?

L'industrie de la mode est un contributeur majeur au changement climatique et à la perte de biodiversité, représentant plus de 8 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre et contribuant à environ 30 % des microplastiques qui se retrouvent dans les rivières et les océans chaque année. En raison de la complexité et l'opacité de ses chaînes d'approvisionnement, l'industrie du textile et de l'habillement est endémique avec des cas de travail des enfants, des conditions de travail dangereuses et l'esclavage moderne.

En conséquence, l'industrie a un rôle clé à jouer dans la résolution des problèmes ESG, et les efforts de développement durable des entreprises de mode sont essentiels à la santé et au bien-être de notre planète.

1.2. Le contexte

Les lancements traditionnels des 2 saisons printemps-été et automne-hiver se sont transformés en 52 micro-collections par an. Cela découle de la stratégie « fast fashion », où les délais de livraison sont plus courts et les collections plus importantes entraînant un modèle de surconsommation et une soif de nouveauté. Le phénomène « acheter jusqu'à épuisement », est devenu une réalité courante, les niveaux de consommation augmentent d'année en année et ont doublé au cours des 15 dernières années.

L'Université de Stanford, le MIT et Carnegie Mellon ont étudié les effets du shopping sur le cerveau humain. Comme nous le savons, lorsque nous trouvons l'objet parfait, l'achat des objets désirés a un effet positif sur le centre du plaisir de notre cerveau, également connu sous le nom de « noyau accumbens ». Il a été démontré et prouvé que l'achat d'articles en vente ou « volé » active le noyau accumbens à un niveau encore plus élevé. Cela explique la puissance imparable de la fast fashion qui se développe sur des produits peu coûteux et non durables.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La stratégie de génération de revenus de ces acteurs ne repose donc pas sur un « prix élevé x quantité moyenne » mais sur un prix bas qui ne peut être contrebalancé que par un modèle de prévision de quantité disproportionnellement élevé. En conséquence, les entreprises produisent 100 milliards d'articles par an pour sept milliards d'humains et 40 % des vêtements ne sont pas vendus au prix fort, et un autre potentiel de 10 % n'est jamais vendu du tout.

Une autre répercussion principale de cette stratégie est la baisse drastique de l'usage des vêtements, la plupart des femmes ne portant en moyenne que 20 % à 30 % des vêtements qu'elles possèdent et portant chaque vêtement environ 7 fois avant qu'il ne soit jeté. Il va sans dire que ces vêtements finiront à un moment donné comme des décharges pures, à l'exception des moins de 15 % recyclés ou donnés.

Mais la principale répercussion de cette stratégie est l'industrie du vêtement et du textile, et ses schémas de production : utilisation des matières premières, choix énergétiques, conditions de travail, émissions de carbone, etc.

Il est donc important de définir les principaux défis auxquels l'industrie est confrontée, ainsi que de découvrir les solutions innovantes qui sont développées et déployées par différents acteurs.

Pour aller plus loin

Une évaluation de l'impact de la consommation mondiale de produits cotonniers sur les ressources en eau dans les pays producteurs de coton -2006 est disponible sur :

- Ecologic Economics (www.elsevier.com/locate/ecolecon - www.sciencedirect.com) https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800905005574
- L'impact environnemental de la production textile https://youtu.be/q7n2QeHtoiE
- https://www.vox.com/the-goods/2020/1/27/21080107/fashion-environment-facts-statistics-impact

1.3. L'importance des questions de durabilité pour l'industrie tunisienne du T&H

La plupart des recherches montrent que la production a le plus grand impact sur le climat. Pour cette raison, de nombreux efforts sont actuellement en cours pour développer de nouvelles façons de concevoir, créer de nouveaux modèles commerciaux, développer des matériaux plus durables et augmenter l'efficacité du recyclage des textiles usagés.

1.3.1 Pour l'industrie tunisienne, c'est une question de compétitivité

La Tunisie fait partie des 15 premiers fournisseurs de vêtements au monde et a l'avantage d'être proche du marché européen. C'est le cinquième fournisseur de l'Union européenne, ainsi que le premier fournisseur de pantalons de l'UE. Les autres produits importants sont les vêtements de travail

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

et la lingerie. Les industries tunisiennes ont un savoir-faire confirmé et des délais courts et respectés qui sont autant d'avantages compétitifs qu'il faut conforter.

Le secteur du Textile/Habillement se positionne comme une pierre angulaire de l'industrie tunisienne et conserve une place importante dans l'économie nationale tout en maintenant une forte contribution à l'équilibre socio-économique du pays. Six catégories de cette industrie sont prédominantes en Tunisie : la filature, le tissage, la finition, la bonneterie, l'habillement, diverses autres industries connexes (accessoires…)

1.3.2. Pour l'industrie tunisienne, c'est une opportunité

Grâce à de multiples atouts, toutes ces activités en Tunisie sont de plus en plus compétitives dans la région et rendent le site tunisien plus favorable aux investissements directs étrangers. Les principaux avantages sont les suivants :

- Une proximité géographique avec l'Europe facilitant le juste-à-temps ;
- Un bon niveau de qualité conforme aux exigences des entreprises ;
- Délais de livraison courts et respectés, grande réactivité aux petites séries et au réapprovisionnement ;
- Des coûts de production compétitifs ;
- Des ressources humaines qualifiées et un savoir-faire confirmé ;
- Des moyens de soutien et de formation ;
- Des programmes de modernisation et de digitalisation ;
- Conformité aux normes sociales et environnementales (processus en cours)

Un certain nombre de fabricants tunisiens commencent à se spécialiser sur certains marchés de niche qui nécessitent un savoir-faire et des compétences techniques élevées, comme les sous-vêtements haut de gamme ou le textile de haute technologie, qui est utilisé dans les industries automobile et aéronautique à des fins de sécurité ou médicales.

1.3.3. Pour l'industrie tunisienne, c'est une question de survie

En Tunisie, l'industrie du Textile /Habillement est presque entièrement tourné vers l'exportation avec environ 1 592 entreprises qui contribuent à 3 % du PIB du pays. En 2017, le secteur totalisait 2,6 milliards de dollars d'exportations, principalement vers l'UE, qui représente 96 % de toutes les exportations de textiles, la France (38 %), l'Italie (24 %) et l'Allemagne (12 %) étant les principaux marchés. Le secteur textile est l'un des plus gros employeurs de Tunisie avec plus de 158 000 travailleurs. Les entreprises à capitaux tunisiens et les entreprises à participation mixte (tuniso-étrangère) représentent environ 60 % de toutes les entreprises, employant 61 % des salariés du secteur. Environ 40 % de toutes les entreprises sont entièrement à capitaux étrangers où les décisions sont prises à l'extérieur du pays.

Pour la Tunisie, le secteur doit devenir de plus en plus durable afin de conserver tous ses avantages économiquement et socialement conscients.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2. Enjeux & obstacles à surmonter - initiatives pour faire face

2.1. Enjeux & obstacles à surmonter

2.1.1. Conflits entre performance et durabilité environnementale

La qualité est la caractéristique environnementale la plus importante d'un produit, car plus il est utilisé longtemps, moins il faut de ressources pour le remplacer.

Parfois, donner la priorité à la qualité a un coût pour la planète, mais les entreprises font tout leur possible pour fabriquer le meilleur produit causant le moins de dommages.

Enjeux environnementaux - Risques - Normes

L'industrie de la mode est le deuxième plus gros pollueur au monde. La pollution de l'eau, avec les eaux usées toxiques déversées des usines dans les cours d'eau, les engrais pour le coton et l'énorme consommation d'eau en raison de la grande quantité d'eau nécessaire à la culture du coton et au processus de teinture sont deux préoccupations principales.

Un problème important qui est resté silencieux pendant un certain temps dans l'industrie est la libération de microfibres lors du lavage de nos vêtements, qui finissent évidemment dans nos océans. À chaque lavage de vêtements contenant des matières synthétiques, environ 2 000 microfibres individuelles sont libérées dans notre système d'eau. C'est un problème clé que l'innovation circulaire tente de résoudre.

Les gaz à effet de serre, les déchets chimiques et la dégradation des sols présentent d'autres dangers graves. De plus, une partie de la forêt tropicale est détruite pour être remplacée par des plantations de tissus à base de bois comme la viscose, la rayonne et le modal.

Actuellement, les questions environnementales jouent un rôle de plus en plus important dans l'industrie textile, à la fois du point de vue des réglementations gouvernementales et des attentes des consommateurs. Tous les produits et services ont un certain cycle de vie. Le cycle de vie fait référence à la période allant de la phase de la matière première du produit au premier lancement du produit fini sur le marché jusqu'à son retrait définitif. Bien que le secteur textile soit l'un des plus grands secteurs à forte intensité de consommation, les pratiques de recyclage et de valorisation ne sont pas très importantes. Par conséquent, une analyse du cycle de vie doit être effectuée à chaque fois. L'analyse du cycle de vie explique en détail le potentiel de déchets, la consommation d'énergie et les effets environnementaux de chaque étape pour lutter contre les émissions de gaz à effet de serre (GES). L'industrie doit revoir les moyens afin d'obtenir des matériaux et des technologies plus durables et d'améliorer le recyclage.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Matières premières - Pollution - Eau - Energie - La gestion des déchets sont les principaux enjeux à prendre en compte dans le processus de production.

Les principaux points et questions à résoudre pour chaque acteur sont de savoir comment réduire l'empreinte environnementale et l'impact des opérations en termes de :

- Consommation d'eau,
- Qualité de l'eau,
- Choix énergétiques
- Émissions de gaz à effet de serre / changement climatique
- Pollution par microfibre
- Utilisation de produits chimiques, toxicité
- Gestion des déchets
- Matières premières
- Utilisation du domaine public
- Agriculture biologique régénératrice

2.1.2. Conflits entre performance et responsabilité sociale

Outre la dégradation de l'environnement, l'industrie de la mode a également une réputation notoirement mauvaise en termes de conditions de travail et de droits de l'homme de ses travailleurs dans sa chaîne d'approvisionnement, en particulier en Asie du Sud. La tragédie du Rana Plaza du 24 avril 2013 a commencé à mettre en évidence les principaux problèmes sociaux et de droits humains. Les bas salaires et les heures de travail extrêmement élevées des ouvriers d'usine, les mauvaises conditions de santé et de sécurité et le travail forcé / des enfants sont quelques-unes des grandes priorités nécessitant une amélioration, une transparence et un suivi dans l'industrie.

Enjeux sociaux- Risques - Normes

Le risque majeur est le suivant : comment mettre en œuvre des conditions de travail favorables dans les chaînes d'approvisionnement, mais parfois les fournisseurs les plus compétents sur le plan technique peuvent ne pas avoir les normes de responsabilité sociale les plus élevées.

Comment y remédier ? Lorsqu'ils sont confrontés à une situation de conflit, une solution est de travailler avec eux pour améliorer leurs normes, en visant toujours une amélioration continue.

Les principaux points et questions à résoudre pour chaque acteur sont :

- Problèmes de sécurité & de santé
- Salaires décents
- Droits de l'homme
- Conditions de travail
- Formation

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.1.3. Autres défis majeurs : enjeux d'éthique et de transparence

Défis : fournir des informations via le site Web et imprimer des catalogues décrivant l'impact environnemental d'articles représentatifs de différentes gammes de produits, sur la base des meilleures données scientifiques et des meilleures données disponibles dans la pratique.

2.1.4. Le Fashion s'est fixé des objectifs tangibles dans trois domaines d'intervention

- Mise en œuvre d'objectifs scientifiques (SBT) pour le climat afin d'atteindre un impact net zéro carbone d'ici 2050 ;
- Protection des espèces clés ainsi que la protection et la restauration des écosystèmes naturels critiques ;
- Réduction de l'impact négatif de l'industrie de la mode sur l'environnement océanique grâce à l'élimination du plastique problématique et inutile dans les emballages et les choix des matériaux et méthodes de production.

2.2. Examen des initiatives mondiales de développement durable dans le textile & habillement

Les marques, les normes industrielles, les certifications et les alliances se concentrent toutes sur la recherche de moyens innovants pour faire de la mode un secteur moins polluant. Par exemple, rendre les processus de production, l'utilisation des matériaux et les parcours des consommateurs circulaires est une grande priorité.

2.2.1. Principaux moteurs d'un parcours réussi vers la durabilité dans le T&H

- Encourager l'utilisation de pratiques d'agriculture biologique régénérative pour lutter contre le changement climatique.
- Partage de données
- Audit social
- Solutions innovantes
- Schémas de production
- Blockchain

2.2.2. Certifications textile et mode pour une entreprise durable réussie

Certifications de la chaîne d'approvisionnement de la mode

Une certification est une exigence légale ou contractuelle. Une norme est une référence de performance et un cadre établissant comment quelque chose doit être fait. Un matériau ou un procédé peut être certifié selon diverses normes qui se rapportent à différentes conditions environnementales

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

et sociales. Elles visent à garantir que certaines conditions ont été remplies dans le processus de production.

Certifications clés

Il existe de nombreuses certifications importantes dans l'industrie du vêtement et de la chaussure. Couvrant une variété de sujets, par exemple, les matières recyclables et ainsi une gamme de sujets de la chaîne d'approvisionnement, les certifications peuvent être utilisées pour aider à réduire les pratiques contraires à l'éthique sur le lieu de travail. Bien qu'il existe de nombreuses certifications possibles pour une entreprise, ce sont les plus courantes qui sont présentes dans l'industrie.

- Bluesign : Une certification axée sur les aspects de la sécurité des consommateurs, des économies d'eau et des émissions atmosphériques et sur la santé au travail. L'accent est également mis sur la réduction de la consommation de substances nocives aux premiers stades de la production. Cela met l'accent sur la conformité légale, la santé et la sécurité environnementales.
- Content Claim Standard : Une certification volontaire qui peut être utilisée pour tracer les matériaux tout au long de la chaîne d'approvisionnement.
- CMiA : Cotton Made in Africa est une certification qui vise à lutter contre la pauvreté et à promouvoir la protection de l'environnement tout en proposant des formations sur site.
- Loi sur l'amélioration de la sécurité des produits de consommation : promulguée par le gouvernement fédéral des États-Unis d'Amérique pour établir des normes de sécurité des produits de consommation et d'autres exigences de sécurité pour les produits pour enfants.
- Crade to Cradle : en mettant l'accent sur la conception de produits éco-intelligents, cette certification est décernée selon des niveaux relatifs à 4 domaines différents, en particulier les matériaux écologiques, les énergies renouvelables, l'efficacité de l'eau et la responsabilité sociale.
- Label écologique de l'UE : un programme volontaire encourageant les entreprises à commercialiser des produits moins nocifs pour l'environnement. Le critère est basé sur l'impact global du produit sur l'environnement tout au long de son cycle de vie.
- Certifié Fairtrade : un label de consommation indépendant qui signifie que des termes de l'échange plus équitables, de meilleurs prix et des délais plus longs favorisent la sécurité et l'autosuffisance économique ainsi que des pratiques de production durables.
- Certification Fairtrade et Fairmined Gold : Une nouvelle certification, combinant Fairtrade International et l'Alliance for Responsible Mining, qui garantit aux consommateurs que les bijoux en or sont d'origine responsable, permettant également aux mineurs travaillant dans des entreprises de petite taille d'améliorer leur situation de vie.
- Global Recycle Standard : un système de suivi et de traçabilité qui vérifie le nombre de pièces ou de matériaux recyclés dans un produit donné.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Certifié GOTS : exigences mondiales qui garantissent le statut biologique des textiles, cela englobe cependant l'ensemble du processus, de la récolte des matières premières à l'étiquetage pour fournir une assurance crédible.
- IVN-Naturtextil : ces 2 labels sont chargés de la protection et de l'examen de l'ensemble de la chaîne de production textile, tant en ce qui concerne les exigences écologiques que la responsabilité sociale.
- LEED : une certification qui évalue la haute qualité environnementale des constructions, cela démontre que le bâtiment est sans aucun doute écologiquement responsable, rentable et sain pour y vivre et y travailler.
- Made in Green : un label qui vérifie également qu'un produit est fabriqué dans une chaîne d'approvisionnement entièrement traçable, et a été fabriqué dans des usines respectueuses de l'environnement et des travailleurs.
- Nordic Swan : un symbole qui démontre qu'un produit est un bon choix environnemental.
- Oeko-tex : une association internationale qui teste les substances nocives aux différentes étapes de la production textile. Il a deux labels de certification ; l'Oeko-Tex Standard 100 et l'Oeko-Tex Standard 1000.
- R Cert : une norme éducative pour les vêtements recyclés qui garantit que les marques recyclent leurs propres déchets textiles dans leurs propres vêtements textiles recyclés.
- Recycled Claim Standard (norme RCS) : est utilisée comme norme de chaîne de contrôle pour suivre les matières premières recyclées d'un bout à l'autre de la chaîne d'approvisionnement et donner de la crédibilité aux allégations relatives aux composants recyclés des produits.
- Certification SA 8000 : une norme de certification sociale qui se donne pour mission de promouvoir les droits de l'Homme des travailleurs du monde entier.
- Sustainable Fair Trade Management System (SFTMS) (Système de Gestion du Commerce Équitable) : la nouvelle approche universelle globale pour la certification de la production, du commerce et de la communication.
- Textile Exchange : une organisation mondiale à but non lucratif qui travaille en étroite collaboration avec ses membres, axée sur l'expansion du marché du coton biologique qui offre des avantages à ses membres, en particulier à ceux qui travaillent dans les domaines de l'engagement de l'agriculture biologique et de l'éducation du public.
- ZDHC Manufacturing Restricted Substance List (MRSL) : Zero Discharge of Hazardous Chemicals est une liste qui comprend les produits chimiques interdits d'utilisation intentionnelle dans les usines de traitement des matériaux textiles.

2.2.3. Initiatives & Alliances

Les initiatives sont un moyen d'obtenir un soutien et d'aider à assurer la durabilité dans la chaîne d'approvisionnement. Bien qu'elles puissent avoir des codes volontaires, elles ne sont pas tenues de

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

le faire. De nombreuses initiatives ont été formées avec l'intention de faire face aux mauvaises pratiques qui sont particulièrement présentes dans les grandes chaînes de mode.

Initiatives clés

Les initiatives sont souvent utilisées pour lutter contre les problèmes qui prévalent dans les grandes marques, mais pas pour les petites marques. Elles peuvent avoir différents objectifs, allant de l'éducation des consommateurs à la fourniture d'objectifs que les entreprises s'efforcent d'atteindre. Ce sont des initiatives importantes qui ont particulièrement un impact énorme sur l'industrie de l'habillement et de la chaussure.

- **Better Cotton Initiative** : une initiative visant à promouvoir la production de coton durable en couvrant 3 piliers de la durabilité, en particulier les conditions environnementales, sociales et économiques.
- **Business for Social Responsibility (BSR)** : Objectifs volontaires fixés par l'organisation afin d'améliorer et de maintenir la qualité des eaux usées dans les opérations liées au textile.
- **Business Social Compliance Initiative (BSCI)** : une initiative de premier plan engagée dans l'amélioration des conditions de travail dans la chaîne d'approvisionnement mondiale. Cela peut aider les entreprises de vente au détail, de commerce, de marque et d'importation à atteindre un objectif global de conformité sociale.
- **Fair Wear Foundation** : une organisation indépendante qui œuvre pour améliorer les conditions de travail dans l'industrie textile.
- **Fair Labor Association** : une organisation à but non lucratif dédiée à mettre fin aux conditions des ateliers clandestins dans les usines du monde entier.
- **Knowlabel** : une étiquette numérique qui permet aux consommateurs de voir l'impact environnemental et humain global des vêtements achetés. L'application téléphone permet aux consommateurs de numériser l'étiquette et de les informer sur l'origine des vêtements et sur la manière d'en prendre soin tout en respectant l'environnement.
- **Made-By** : une organisation européenne à but non lucratif qui vise à améliorer les normes environnementales et sociales au sein de l'industrie de la mode. Cependant, la participation aux normes Blue Button est volontaire.
- **La fondation Ellen Mc Arthur** : s'est donné pour mission d'accélérer la transition vers l'économie circulaire.
- **Fashion for Good** : une bonne illustration des investissements d'innovation pour trouver des solutions durables pour l'industrie.
- **Bcorp** : une communauté de leaders de diverses industries, se mobilise pour trouver des solutions aux problèmes communs de développement durable.

3. Durabilité et circularité : pactes, modèles d'affaires, acteurs, cas et solutions

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3.1. Durabilité – mode durable

3.1.1. De quoi s'agit-il ?

Integration of Sustainability Development Goals – Fashion Pact and standards

Suite à la publication des 17 Objectifs de développement durable par les Nations Unies, de nombreux groupes de l'industrie du textile/habillement ont mis en place un processus d'analyse des ODD basé sur la cohérence au regard de leurs propres valeurs de développement durable et la pertinence par rapport à leurs propres activités dans le court, moyen et long terme. Cette démarche s'achève par l'identification et l'adoption des Objectifs de Développement Durable à décliner en actions concrètes à développer en interne et sur lesquelles concentrer les ressources du Groupe.

Pour aller plus loin : quelques présentations vidéo sur des expériences liées à la durabilité dans la mode

Tableau 1. Présentations de vidéos sur la durabilité dans la mode

Titre	Intervenant	Organisation	Lien
Passion durable	Veronica Tonini	Ferragamo	https://youtu.be/C_w1DgZNmvE
Concevoir un avenir durable	Anna Detheridge		https://youtu.be/hsbGiV3PSts
Innovation durable	Mark Shayler	thisisape.co.uk	https://youtu.be/H1AnzfEUe9g
Design durable	Prisca Visbol	Manufacture Copenhagen	https://youtu.be/dQuEFWulFuQ
Tendances du marché pour une mode durable	Danièle Clutier	IFM	https://youtu.be/J1av5tSSx1A
Durabilité : du marché de niche au marché grand public	Elis Kiss	Kathimerini	https://youtu.be/NTmwdxLUw0g
Co-conception et co-création pour la durabilité	Fiori Zafeiropoulou	SOFFA	https://youtu.be/ZpUq-hqsrZg
Marché de la mode durable	Jesse Marsh	TCBL project	http://issuu.com/tcbl/docs/sustainable_fashion_market
Mode éthique et comment communiquer votre marque durable	Dimitris Grammatikogiannis et Andriana Sakka	Ethical Ode	https://youtu.be/HQCoOJ5SgQs

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3.1.2. Principaux modèles économiques et leurs limites

- **ÉCHANGE DE VÊTEMENTS** : L'une des solutions les plus durables est l'échange de vêtements, car vous donnez non seulement une nouvelle vie aux pièces que vous avez, mais aussi celles que vous donnez = doubler l'économie de la mise en décharge.
- **SECONDE MAIN** : une autre solution super durable car les pièces existent déjà, vous économisez donc tout l'impact négatif de la production.
- **SLOW FASHION** : respectueux de l'environnement en produisant moins de nouveaux articles. Si vous voulez vraiment trouver un contre, en voici un : la Slow Fashion signifie rester fidèle à ce que vous avez pendant longtemps, mais cela peut devenir difficile à faire lorsque vos goûts changent.
- **FAIR FASHION** : Garantir des salaires équitables soutenir l'éducation et améliorer directement la qualité de vie des travailleurs. Si tout le monde avait un salaire décent, nous verrions plus de bonheur dans le monde = moins de conflits + plus d'amour et de paix. Mais les certifications peuvent être trompeuses et signifier des choses différentes de ce à quoi on pourrait s'attendre.
- **VEGAN** : certification respectueuse de l'environnement car elle réduit l'impact environnemental négatif causé sur les animaux. Empêcher les animaux de mourir ou de souffrir pour les vêtements. Mais certaines marques utilisent du plastique ou d'autres fibres non biodégradables en remplacement des produits d'origine animale. Malheureusement, ces matériaux se retrouvent souvent dans des décharges après un court laps de temps.
- **PRODUCTION LOCALE** : minimisez l'empreinte carbone ! Le transport des vêtements émet une énorme quantité de C02, qui peut être réduite en minimisant les distances pendant la production.
- **MINIMALISME** : avoir le moins possible = moins de consommation.
- **COTON BIOLOGIQUE** : certifié sans pesticides, il est meilleur pour la santé et la terre des agriculteurs, et protège également la faune. Mais le coton biologique ne signifie pas moins d'eau dans la production et encore moins qu'il est produit de semences non OGM. De plus les conditions de production doivent être vérifiées. En effet souvent les conditions de travail sont proches de l'esclavage. De plus il n'offre aucune garantie qu'il est bon pour notre peau : le coton biologique peut également être teint et traité avec des produits chimiques toxiques.

3.1.3. Acteurs et cas inspirants

- Finisterre - ils ont commencé leur voyage en 2003 dans un appartement au-dessus d'un magasin de surf ; avec une philosophie de base : concevoir des vêtements et des combinaisons avec la fonctionnalité et la durabilité au cœur de son modèle économique. Toujours rester engagé envers le produit, l'environnement et les personnes. Finisterre est une société certifiée BCorp.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Patagonia - une autre entreprise de vêtements de plein air et celle-ci a besoin de peu d'introduction. Principalement parce qu'elle est l'une des marques mondiales les plus connues à avoir réussi à maintenir son statut durable.
- Pact Clothing - connus pour leur prix abordable et leur haute qualité ; Pact crée des vêtements certifiés biologiques pour tous les membres de la famille, y compris les parents, les tout-petits et les bébés (biologique, certifié GOTS, Fairtrade)
- Everlane- Everlane est maintenant bien connue pour être un défenseur de la transparence totale, permettant à ses clients de savoir exactement comment le produit qu'ils achètent a été fabriqué.
- Able- entreprise de vêtements pour femmes et société certifiée B Corp, Able croit en la fin de la pauvreté générationnelle, avec un accent particulier sur l'autonomisation des femmes.
- Tentree_- cette marque de vêtements célèbre son engagement envers notre planète avec des produits fabriqués de manière éthique et durable. Ils plantent également dix arbres pour chaque article acheté. Avec pour devise « Achetez-en un, plantez en dix », la marque a maintenant planté plus de 42 millions d'arbres dans le monde et est en bonne voie d'atteindre son objectif de planter un milliard d'arbres d'ici 2030.
- Boden - une autre merveilleuse marque britannique avec de fortes valeurs durables et éthiques. Axés sur des salaires équitables et un commerce conscient, ils emballent également les produits dans des matériaux entièrement recyclés et recyclables.
- Kotn- Célèbre pour ses pièces en coton égyptien doux, Kotn est une entreprise de base éthique et se concentre sur l'essentiel. Des pièces magnifiquement sobres fabriquées dans des environnements de travail sûrs avec des salaires décents tout au long de la chaîne d'approvisionnement.
- Alternative Apparel- Essayer de réunir les bonnes affaires et la durabilité, pour être une option abordable sans les inconvénients. Cette marque abordable utilise des matériaux et des processus recyclés lorsque cela est possible pendant la fabrication, et l'entreprise veille à ce que les employés travaillent dans des conditions sûres et perçoivent des salaires équitables.
- Thought Clothing- Une marque de vêtements écologiques qui se concentre sur les ingrédients / matériaux biologiques, y compris le coton, le bambou et le chanvre. Basée au Royaume-Uni mais expédie dans le monde entier.
- Ref Jeans by Reformation- Une entreprise qui vise à réduire les déchets liés au denim en utilisant un tiers de l'eau utilisée par les entreprises de denim concurrentes.
- Isabelle Fox- Une marque de luxe, créant des vêtements intemporels et traditionnels avec des processus et des matériaux de haute qualité. La marque crée également des sacs à partir de restes de tissus et ont un circuit de vente direct vers les consommateurs pour éviter le gaspillage inutile de la chaîne d'approvisionnement.
- Paper London – Swimwear - Paper London crée de beaux vêtements pour femmes, mais c'est leur maillot de bain qui a reçu le plus de prix. Les pièces sont fabriquées à partir de filets de pêche recyclés, qui auraient mis 600 ans à se décomposer.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Tradlands - Une marque qui réinterprète la mode masculine pour les femmes. Pour les femmes qui penchent vers les styles masculins. Tradlands respecte des normes élevées de qualité et de durabilité, avec des vêtements fabriqués en petites séries par des artisans indépendants.
- Outerknown- Une marque de vêtements pour hommes et femmes, avec la durabilité au cœur de chaque étape de la production. Des salaires plus équitables pour les ouvriers du textile à un emballage durable. Outerknown fait des pièces sobres et intemporelles.
- Levi's- Une des marques les plus connues au monde et pour une bonne raison. Leur denim est intemporel et signifie durabilité et utilisation à long terme. Ils utilisent du coton éthique, des procédés innovants économes en eau et recyclent leur denim dans la mesure du possible.
- Cuyana - Se concentrer sur les pièces magnifiquement et consciemment fabriquées pour durer toute une vie. Ils ont également leur initiative « Lean Closet », qui vous permet de donner facilement des vêtements aux femmes dans le besoin, en échange d'un crédit pour votre prochain achat Cuyana.
- Vetta- Vetta vous propose une garde-robe minimaliste (capsule wardrobe) de 5 vêtements seulement avec lesquels il est possible de créer 30 tenues différentes, qui vous serviront pendant des années. Une approche durable de la façon dont nous nous habillons plutôt que de promouvoir le consumérisme de masse. Leur usine partenaire tire également 70 % de son énergie de l'énergie solaire.
- Hackwith Design House - HDH crée chaque pièce sur commande, garantissant moins de gaspillage et rendant votre vêtement spécial. HDH croit qu'il faut faire de chaque produit votre article de garde-robe préféré. Ils utilisent des palettes de couleurs toujours à la mode ; pour les minimalistes, les amoureux des basiques, ils devraient être un incontournable pour vous.
- Sezane - Cette marque est née à Paris et semble être aussi proche du zéro déchet que possible. En 2017, Sezane s'est engagé auprès des enfants en créant le programme solidaire, DEMAIN, pour aider les enfants défavorisés à accéder à l'éducation et à l'égalité des chances.
- Veja - Récemment réputée pour sa nouvelle gamme de chaussures éthiques, Veja lance depuis 2005 des baskets avec un impact positif à chaque étape de la chaîne d'approvisionnement. Des matériaux éthiques et durables, des salaires équitables et une approche consciente du marketing et du consumérisme. Une marque que vous pouvez soutenir.
- Saye - Une autre marque de baskets de haute qualité fabriquées de manière éthique. Leur devise "Meaningful Steps to Inspire Change" ou « des pas significatifs pour inspirer le changement » est pertinente car ils ont déjà réussi à planter 63 936 arbres en produisant leurs baskets avec des matériaux organiques et recyclés. Ils sont également déterminés à être aussi transparents que possible sur leurs projets de reboisement et leur production au Portugal.
- Eileen Fisher- Un leader de l'industrie de la mode durable et éthique et elle croit en la refonte d'une industrie de la mode en plein remise en cause. Ils produisent des vêtements durables de la plus haute qualité et sont inclusifs dans de nombreuses tailles. D'ici 2025, la vision de la marque est de réduire de 25 % ses émissions de gaz à effet de serre générées lors de la production et de l'expédition de ses vêtements.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Mara Hoffman- Mara Hoffman est favorable aux nouvelles pratiques de fabrication de vêtements et à la transparence totale. La marque utilise des matériaux durables en abondance tels que Econyl, Tencel, Repreve, chanvre, lin et coton biologique. Ils tiennent également compte de leurs garanties telles que le choix de sacs en polyéthylène compostables pour la livraison, de boutons provenant de sources durables et d'encre à base de soja pour les initiatives de marketing.
- People Tree- La mode durable peut sembler une industrie jeune, mais People Tree existe depuis plus de 20 ans, mettant en avant les vêtements issus du commerce équitable. En partenariat avec des artisans et des agriculteurs du commerce équitable, ils se sont bâtis une réputation sur des pratiques éthiques et durables.

3.1.4. Stratégie holistique INSPIRANTE et initiatives spécifiques

- La marque française Sezane maintient ses articles au prix fort toute l'année, en limitant les ventes favorisant la surconsommation et les comportements d'achat volatiles et en poussant les marges sur tous les fronts de la chaîne d'approvisionnement.
- Transparence : des efforts sont également déployés en matière de transparence des coûts, avec des acteurs comme Everlane et Nolabel qui se font une priorité d'informer les consommateurs sur les coûts réels et les marges bénéficiaires, les coûts matériels de la main-d'œuvre et du transport.
- Moja – propose une production et une distribution de serviettes hygiéniques avec le développement parallèle d'ateliers d'hygiène en Tanzanie en vendant des sous-vêtements - place la durabilité au cœur des business modèles des entreprises.

3.2. Circularité - mode circulaire

3.2.1. De quoi s'agit-il ?

Intégration des objectifs de développement durable - Pacte de la mode et normes

« Une économie circulaire est par nature réparatrice et régénératrice, et qui vise à maintenir les produits, les composants et les matériaux à leur plus grande utilité et valeur à tout moment, en distinguant les cycles techniques et biologiques. »

Le concept d'économie circulaire a récemment été adopté avec une grande importance par la Commission européenne, dans une série de programmes de communication et de financement lancés en décembre 2015.

Cela comprend des propositions de directives sur les déchets, les déchets d'emballages, les décharges et les déchets électriques et électroniques, l'introduction d'« Activités transversales » spécifiques dans le programme de travail « Horizon 2020 (H2020) pour la période 2016-2017 et des cadres politiques pour les Fonds ESI (Fonds structurels et d'investissement européens) avec un œil particulier sur les stratégies de spécialisation intelligentes.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Étant donné que l'économie circulaire semble émerger en tant que nouveau cadre politique, il est important de souligner son importance pour le secteur du T&H.

Premièrement, en tant que modèle général, le modèle d'économie circulaire transforme les politiques environnementales d'une approche « punitive » en une approche « d'opportunité » et peut donc être utilisé pour tirer parti de l'innovation commerciale sous un jour positif.

Deuxièmement, l'économie circulaire fournit un cadre pour de nombreux aspects qualitatifs liés aux approches de T&H innovantes : la résilience des systèmes, le rôle de la diversité, la conception émotionnellement durable, etc.

Enfin, l'économie circulaire fournit un cadre unificateur pour de nombreux domaines spécifiques de recherche et d'innovation qui sont en cours depuis un certain temps maintenant dans le secteur du T&H. (Jesse Marsh, https://zine.tcbl.eu/circular-economy/)

Soutenu par une transition vers les sources d'énergie renouvelables, le modèle circulaire construit un capital économique, naturel et social. Il repose sur trois principes :

- Réduire les déchets et la pollution
- Garder les produits et matériaux en service
- Régénérer les systèmes naturels

La transition vers des textiles durables et circulaires exigera une approche holistique et des changements à chaque étape de la chaîne de valeur, impliquant des acteurs de toutes tailles et de tous les segments de marché. De nouveaux business modèles devront être adoptés à grande échelle, l'utilisation de substances dangereuses dans la transformation du textile devra être éliminée et les ressources devront être utilisées beaucoup plus efficacement, avec un passage des combustibles fossiles aux sources d'énergie renouvelables. Mais surtout, l'utilisation du textile devra être optimisée, incluant une durée de vie plus longue et plus d'options post-utilisation, ainsi qu'un recyclage considérablement amélioré lorsque les matériaux atteindront leur fin de vie.

Pour aller plus loin : présentations d'exemples de circularité dans le T&H du réseau TCBL

Tableau 2: Présentations de circularité dans le T&H

Titre	Intervenant	Organisation	Lien
Économie circulaire	Jesse Marsh	TCBL Network	https://zine.tcbl.eu/circular-economy/
Économie circulaire	Jade Wilting	TCBL Network	https://youtu.be/o2IQuyAibYM
Vers l'économie circulaire	Véronique Allaire-Spitzer	TCBL Network	https://youtu.be/VBu60T6Lh-o

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3.2.2. Solutions innovantes pour une empreinte minimale

Utilisation de tissus alternatifs

Certains textiles les plus courants sont également les plus nocifs pour l'environnement. Le coton nécessite plus de pesticides que toute autre culture aux États-Unis, et le polyester nécessite l'utilisation de plus de 70 000 000 de barils de pétrole chaque année. Les textiles alternatifs tels que le lin, le chanvre et même la « soie d'araignée » sont de plus en plus considérés comme une alternative aux tissus traditionnels, en raison de leur durabilité accrue. Beaucoup de ces textiles offrent des propriétés telles que la conductivité et une solidité élevée dans des applications techniques.

Textiles techniques produits avec moins de ressources

Les textiles traditionnels nécessitent beaucoup de ressources pour les développer, se les procurer et les transformer. Les textiles techniques synthétiques tels que la fibre acrylique peuvent être produits à partir de composés chimiques courants et un équipement spécialisé. De plus, ces textiles peuvent être fabriqués selon des critères complexes, ce qui les rend idéaux pour les petites commandes ou les commandes personnalisées.

« Up cycling » des matériaux synthétiques qui décollent

Le Up cycling est le nouveau recyclage. Les progrès de la technologie d'extrusion créent de nouvelles voies pour les matériaux. Les produits non textiles tels que les sacs en polypropylène et les bouteilles de bière peuvent maintenant être broyés en de fines particules qui sont ensuite fondues et extrudées en fibres utilisables. Des processus comme ceux-ci créent moins de déchets et réduisent la distance requise pour l'approvisionnement de certains composants.

Innovations dans les colorants textiles pour moins de pollution

La teinture est le traitement le plus éprouvant pour l'environnement de tout procédé liée au textile. Les innovations techniques dans la façon dont les colorants sont imprégnés dans les tissus, sont nombreuses et vont des « colorants à l'air » qui sablent les textiles avec des couleurs aux applications de résine pré-teinte pour les textiles composites, qui réduisent la production de carbone de l'ensemble du processus. De plus, les eaux usées après teinture trouvent une nouvelle vie grâce à des processus innovants qui éliminent les composés organiques récalcitrants et produisent moins de « boues ».

3.2.3. Acteurs et intervenants impliqués dans la circularité

Girlfriend Collective - Girlfriend Collective utilise de vieilles bouteilles recyclées et des filets de pêche pour créer ses vêtements. Tous sont fabriqués dans des usines vietnamiennes où les salaires sont équitables et les conditions de travail maintenues à un niveau élevé.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Sirplus Clothing- Une brillante marque britannique qui crée des vêtements de luxe avec des résidus / déchets de tissus partout où ils le peuvent.

Tonle -Tonle défend la mode zéro déchet. Ils veulent changer la façon dont nous voyons les vêtements et utiliser des tissus récupérés dans la mesure du possible. Ils utiliseront même les petits résidus laissés à la fin pour créer des étiquettes. L'équipe de production est basée à Phnom Penh et est rémunérée équitablement, participe à des journées de retraite et de méditation et travaille dans un environnement favorable où une formation est offerte, ainsi que des opportunités de promotion. Tonle utilise également des colorants naturels, qui sont plus sûrs pour les travailleurs et les clients.

Sotela- Fabriqués par des femmes, pour des femmes, Sotela utilise des matériaux écologiques et des emballages en matériaux recyclés.

3.2.4. Cas inspirants

Circularité dans la mode : Mud Jeans, une entreprise de jeans basée à Amsterdam, a mis en place un modèle de « leasing de jeans » pour promouvoir la circularité de la mode et sensibiliser les consommateurs aux effets environnementaux du processus de création de jeans, l'un des plus grands consommateurs d'eau.

La contribution des plateformes, tels que Vinted et Vestiaire Collective qui incitent à un comportement d'achat plus durable, en diminuant le besoin d'articles « neufs » par rapport aux articles d'occasion.

Rent The Runway, un vaste répertoire de marques et de vêtements ; RTRW est une plateforme de réutilisation. Une alternative à l'achat neuf, apportant de la circularité à la mode. Les vêtements peuvent être loués sur la base d'un abonnement, livrés dans des sacs réutilisables et nettoyés à sec de manière durable une fois retournés. La mode de la location est l'une des innovations les plus intéressantes de l'industrie et devrait figurer plus en avant au cours des deux prochaines années.

Efforts comportementaux liés à l'utilisation de matériaux recyclés ou biologiques comme Patagonia, Organicbasics, Adidas, et un grand nombre d'autres acteurs.

La machine verte de la fondation H&M, testée à Hong Kong et maintenant en Indonésie. Elle utilise une solution hydrothermale pour recycler un mélange coton - polyester avec la même eau pour dissoudre les fibres et les retourner pour 2 cents de plus que le polyester : https://www.fastcompany.com/90596456/hm-is-one-of-fashions-biggest-polluters-now-its-on-a-100-million-quest-to-save-the-planet?cid=eem524:524:s00:01/31/2021_fc&utm_source=newsletter&utm_medium=Compass&utm_campaign=eem524:524:s00:01/31/2021_fc

Stratégie circulaire de Ralph Laurens https://wwd.com/fashion-news/designer-luxury/ralph-laurens-circularity-strategy-advances-sustainability-goals-1234768277/

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3.2.5. Entrées du réseau TCBL

- Up-cycling avec la communauté par Darko Krainc : https://youtu.be/nnOgQcyflrU
- Zéro déchet crée par Mylène L'Orgilloux : https://youtu.be/aami6n-imuM
- Services circulaires et transparence par Nin Castle : https://youtu.be/WEauoCHabww
- La double boucle circulaire par Ina Budde : https://youtu.be/hOkRJvQvGUQ

4. Conclusions

Pour conclure, les principaux moteurs de la mode non durable sont nos modes de consommation et nos comportements. Changer nos comportements individuels reste la clé absolue pour minimiser la dégradation environnementale et sociale causée par l'industrie de la mode. Alors que les jeunes consommateurs manifestent un appétit croissant pour des vêtements plus éthiques (60 % des milléniaux et GenZ disent vouloir faire des achats de manière plus durable), des actions supplémentaires sont nécessaires pour inverser la tendance des pratiques durables dans le secteur.

Au cours des dernières années, les questions d'environnement et de travail ont fait l'objet d'un examen approfondi, ce qui est le point de départ pour trouver des solutions à long terme. Il est important que tous les acteurs de l'industrie continuent de se réunir et de trouver des réponses alignées à ces défis clés. Le changement est inévitable et toutes les parties - des entreprises textiles aux fournisseurs, plateformes et même consommateurs - doivent faire leur part pour contribuer à rendre la mode plus durable.

Apprendre des bonnes pratiques et partager les connaissances est un élément clé des programmes innovants de production durable. L'industrie du Textile & Habillement à partir des matières premières qu'elle utilise, des couleurs chimiques qu'elle évite, des conditions de travail respectueuses qu'elle offre, des émissions de carbone qu'elle évite, des produits durables qu'elle produit, participe à l'amélioration de la durabilité dans ce secteur qui pour le moment tente de rationaliser ses méthodes et de proposer de meilleures solutions pour l'avenir.

Les fibres naturelles sont la colonne vertébrale de l'industrie textile, et le changement climatique influe sur la croissance et la production de ces fibres naturelles.

Il y a une montée en puissance de la slow fashion, avec des vêtements de meilleure qualité avec une durée de vie et une utilisation plus longue. Le récent rapport de la Fondation Ellen MacArthur plaide pour une transition vers une économie circulaire, où la valeur des produits et des matériaux est maintenue le plus longtemps possible et l'utilisation des déchets et des ressources est minimisée.

Ceci, associé aux efforts visant à minimiser les impacts environnementaux négatifs de la production, créera une industrie plus durable. Pour des suggestions telles que la location de vêtements et une

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

durabilité accrue permettant la réutilisation et la revente, un changement de comportement et d'attitude des consommateurs est nécessaire pour qu'ils gagnent du terrain.

Références

[1] A.K. Chapagain, A.Y. Hoekstra, H.H.G. Savenije, R. Gautam, "An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries", *Ecological Economics,* Volume 60, Issue 1, pp 186-203, November 2006. [Online] Disponible sur : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800905005574 [Consulté : Juin 12, 2021].

[2] TCBL Foundation (2017, Sept. 8). *TCBL 2017 Talk Francesca Rulli*. YouTube. [Online]. Disponible sur : https://youtu.be/q7n2QeHtoiE [Consulté : Juin 22, 2021].

[3] A. Wicker (2020, Jan. 31). *Fashion has a misinformation problem. That's bad for the environment*. Vox. [Online]. Disponible sur : https://www.vox.com/the-goods/2020/1/27/21080107/fashion-environment-facts-statistics-impact [Consulté : Juin 23, 2021].

[4] E. Segran (2021, Jan. 27). *H&M is one of fashion's biggest polluters. Now its foundation is on a $100 million quest to save the planet.* Fast Company. [Online] Disponible sur : https://www.fastcompany.com/90596456/hm-is-one-of-fashions-biggest-polluters-now-its-on-a-100-million-quest-to-save-the [Consulté : Juin 14, 2021].

[5] L. Lockwood (2021, March. 9). Ralph Laurens Circularity Strategy Advances Sustainability Goals. WWD, Fashion News. [Online] Disponible sur : https://wwd.com/fashion-news/designer-luxury/ralph-laurens-circularity-strategy-advances-sustainability-goals-1234768277/ [Consulté : Juin 22, 2021]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

1. **Question 1** : l'industrie du T&H a de grands efforts à faire pour réduire sa contribution…

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) À la pollution des océans

b) Au développement durable

c) Au développement économique des pays

2. **Question 2** : Quelles sont les grandes tendances de la mode circulaire ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Seconde main & produits à cycles de vie multiples, moins de déchets

b) Matériaux biologiques, prix élevés, production à grande échelle

c) Techniques d'artisanat industriel, textiles synthétiques, produits à forte intensité énergétique

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 7.2 Études de cas sur les processus de réingénierie pour la durabilité, la RSE et la qualité

Matteo Paradisi
CIAPE

1. Durabilité pour les entreprises

L'Agenda 2030 et ses 17 Objectifs de développement durable (ODD) jouent le rôle de cadre de référence et de guide pour le développement d'une approche stratégique de la durabilité dans les entreprises. Compte tenu de la nature des ODD, l'opportunité ou les entreprises ne résident pas seulement dans le fait de faire partie d'un changement vers une plus grande durabilité mondiale, mais aussi d'avoir accès à de nouvelles opportunités de marché [1] et de stimuler la croissance et l'innovation par la mise en place de nouveaux plans d'affaires.

1.1. Mégatendances dans le scénario 2030

Les mégatendances sont des forces perturbatrices qui peuvent entraîner des changements structurels dans l'économie mondiale, stimuler l'innovation, redéfinir les priorités et les modèles commerciaux des entreprises. En d'autres termes, les mégatendances [2] sont des processus complexes qui peuvent influencer la société, l'économie et la vie des gens.

L'un des rapports mettant en évidence les risques du futur proche est le Global Risk Report publié chaque année par le Forum économique mondial (WEF). Dans le Rapport édition 2020 pour la première fois depuis le début de l'enquête, les cinq premiers risques mondiaux sont exclusivement liés aux enjeux environnementaux.

Principales mégatendances actuelles :

- Crise climatique
- Révolution technologique
- Nouvelles structures démographiques
- Instabilité géopolitique
- Vulnérabilité des systèmes

1.2. Entreprises et Agenda 2030

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Selon le Programme 2030, les entreprises jouent un rôle important dans la mise en œuvre des 17 objectifs de développement durable. En alignant la stratégie commerciale sur les ODD, il est possible de créer un monde plus inclusif, équitable et durable.

Les entreprises du monde entier, de toute taille et de tout secteur de production, sont appelées à apporter leur contribution à l'Agenda 2030 à travers le développement de nouveaux modèles d'entreprise durable, d'investissements, d'innovation, de développement technologique et d'activation de collaborations multipartites [3].

L'élément clé pour les entreprises réside dans l'innovation [4] ; les entreprises peuvent et doivent trouver une union entre innovation (de produit, de service ou de processus) et durabilité, dans le but de développer, à travers des technologies innovantes, de nouvelles solutions durables et en alignement avec les ODD [5].

Afin d'obtenir les réalisations de l'Agenda 2030, l'implication des entreprises est cruciale ; d'autre part, les entreprises peuvent tirer un avantage considérable en intégrant ces objectifs. C'est une opportunité importante en termes de développement et de croissance. Pour les entreprises, cela signifie :

- Améliorer leur capacité à prévenir et gérer les risques
- Avoir l'opportunité d'innover dans sa propre entreprise
- Attirer des ressources nouvelles et précieuses
- Construire un réseau d'acteurs de confiance

Au contraire, ne pas s'engager dans cette voie signifie être exclu par de nouvelles opportunités sur de nouveaux marchés et, par conséquent, perdre en compétitivité.

1.3. Une stratégie d'intégration des ODD dans l'entreprises

Pour pouvoir intégrer les ODD, les entreprises doivent suivre une stratégie claire. Voici un modèle potentiel vers une prise de conscience et une intégration progressive des ODD dans la dynamique de l'entreprise, qui consiste en 6 étapes :

CONSCIENCE

La première étape consiste à connaître en profondeur le contenu de l'Agenda 2030 et des 17 ODD. Il est très important de les parcourir en détail, de comprendre la déclinaison spécifique de chaque Objectif, de comprendre en quels termes il peut être pertinent pour l'entreprise et comment déterminer un impact.

ANALYSE INTERNE

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La deuxième étape consiste à faire une analyse interne pour comprendre quels sont les ODD les plus pertinents pour l'entreprise, quels sont les domaines ayant le plus d'impact et quels sont les objectifs possibles à atteindre.

L'INNOVATION COMME OPPORTUNITÉ

Les ODD représentent un énorme potentiel en termes d'opportunités de marché pour les entreprises ; ils doivent être en mesure de rehausser leurs ambitions en matière de durabilité et d'innovation : nouveaux états d'esprit, innovation de modèle d'affaires, technologies de rupture, partenariats.

INTÉGRATION DANS LA STRATÉGIE ET LA PLANIFICATION

La prochaine étape est l'intégration des ODD dans les processus de stratégie et de planification, en définissant les priorités, les objectifs, les actions et les indicateurs de suivi.

RAPPORTS

L'Agenda 2030 et les 17 ODD représentent un cadre de référence possible également pour le rapport du développement durable. Quelle que soit la norme de référence pour ce rapport, il est possible d'utiliser les ODD à la fois dans la phase de définition des contenus et comme référence pour la description des impacts atteints et des objectifs fixés.

LA COMMUNICATION

Une stratégie de communication centrée sur les ODD produit des effets spécifiques :

- Au sein de l'entreprise : les ODD deviennent le langage commun d'intégration de la durabilité et de l'amélioration continue, et ils sont une référence pour l'engagement fort de l'entreprise envers les enjeux de durabilité.
- Vers les parties prenantes : c'est un bon moyen de créer des relations nouvelles et efficaces et de créer des opportunités de nouvelles collaborations, co-conceptions, partenariats.

2. Etude de cas : Eileen Fisher *[6]*

« Là où d'autres voient des déchets, nous voyons des possibilités. Nous reprenons nos vêtements - plus de 1,5 million de pièces depuis 2009 - pour être revendus ou refaits dans de nouveaux modèles. Tout cela fait partie de notre vision d'un avenir sans gaspillage ». C'est la déclaration d'Eileen Fisher sur sa page d'accueil. L'entreprise est certifiée B Corp depuis 2015. B Corps répond volontairement à des critères élevés de performance sociale et environnementale, de responsabilité et de transparence.

En 2017, l'entreprise s'est légalement engagée à œuvrer pour un impact social et environnemental positif, en plus du profit. Depuis 2017, chaque année, l'entreprise rédige un rapport de bénéfices. Avec

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

ce rapport, l'entreprise s'engage « légalement à respecter des normes d'objectif, de responsabilité et de transparence plus élevées… cela signifie concevoir des vêtements avec un minimum de dommages environnementaux et sociaux ; créer un milieu de travail inclusif ; autonomiser les femmes et les filles, soutenir le traitement équitable de tous et préserver l'environnement ; et faire progresser les pratiques commerciales éthiques grâce à des collaborations dans l'industrie de la mode ». (Rapport de bénéfices 2019 de la société).

La société a embrassé 4 avantages faisant partie de son objectif :

Avantage 1 : engagement à concevoir des vêtements qui créent un minimum de dommages environnementaux et sociaux.

Avantage 2 : s'engage à créer un lieu de travail inclusif qui respecte et honore les différences de sexe, d'âge, de race, d'origine ethnique, de religion, d'orientation sexuelle et d'opinions politiques.

Avantage 3 : mener des affaires de manière à autonomiser les femmes et les filles, soutenir le traitement équitable de tous et préserver l'environnement.

Avantage 4 : Nous nous efforçons de travailler en collaboration et en toute transparence avec d'autres entreprises du secteur de la mode pour faire progresser les pratiques commerciales éthiques

Dans ce module de formation, nous nous concentrerons sur l'avantage 1, en le prenant comme étude de cas d'une entreprise de vêtements traitant de la durabilité.

Avantage 1 : engagement à concevoir des vêtements qui créent un minimum de dommages environnementaux et sociaux.

MATERIAUX. L'objectif de l'entreprise est d'utiliser des matériaux durables dans 100% de ses produits. L'objectif est de s'approvisionner en matières premières auprès d'agriculteurs qui utilisent des pratiques biologiques et régénératives qui aident à restaurer les écosystèmes et à augmenter la biodiversité et la résilience. La société a mis en place un outil de classement des matériaux (MRT) afin de mesurer les principaux impacts de la production de fibres et du traitement par voie humide des textiles et de suivre un processus de diligence raisonnable strict pour vérifier les allégations de durabilité.

ECO-PREFERRED. Chaque année, l'entreprise vise à augmenter l'utilisation de matériaux durables. En 2019, 73 % des matériaux utilisés étaient éco-préférentiels, soit 4 points de plus que l'année précédente.

LAINE RESPONSABLE. En 2019, l'entreprise a augmenté de 25 % l'utilisation de laine certifiée selon la norme Responsible Wool Standard (RWS). La laine RWS provient de fermes qui soutiennent le bien-être des animaux et la gérance de l'environnement. L'entreprise a noué un partenariat avec Fox & Lillie, un fournisseur de laine australien innovant qui a investi dans son réseau de producteurs de laine en

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

créant un groupe RWS. De cette façon, la chaîne d'approvisionnement bénéficie d'une traçabilité de 100%.

AGRICULTURE RÉGÉNÉRATIVE. Une partie de la stratégie d'approvisionnement en matériaux de l'entreprise comprend l'utilisation de fibres régénératives, des fibres cultivées de manière à aider à restaurer et à soutenir l'écosystème, permettant à la terre de capturer et de stocker le carbone atmosphérique. Quarante-sept pour cent de la quantité totale de laine utilisée en 2019 provenait d'exploitations utilisant une gestion régénérative. En 2017, l'entreprise a entamé une coopération avec Ovis 21, un réseau collaboratif de gestionnaires de terres régénératives.

En 2019, la société est devenue un fondateur de Frontier dans le cadre du programme Land to Market du Savory Institute. En collaboration avec Ovis 21, le programme Land to Market évalue le monde réel à l'aide de sa propre méthodologie pionnière, la vérification des résultats écologiques (EOV). Cet instrument empirique mesure la fonctionnalité des écosystèmes, comme la santé des sols et le carbone séquestré, les taux d'infiltration d'eau et la biodiversité pour promouvoir et soutenir la production régénérative de matières premières. De cette façon, l'entreprise est en mesure de comprendre et d'évaluer la santé globale des terres et des systèmes de pâturage dans sa chaîne d'approvisionnement. De plus, les données scientifiques offrent des informations essentielles aux éleveurs qui travaillent à des pratiques agricoles plus holistiques.

CHIMIE. L'objectif est de donner la priorité à une chimie sûre, en maintenant des normes élevées de gestion des produits en intégrant la gestion des produits chimiques dans 40 % du score MRT. En utilisant cet outil comme levier clé pour guider les décisions de conception, l'entreprise vise à étendre les pratiques de chimie durable tout au long de sa chaîne de valeur et à assurer une utilisation responsable des ressources pour minimiser l'impact sur l'environnement et protéger la santé des clients.

CHIMIE BLUESIGN®. En 2019, 29,3 % des unités produites étaient fabriquées avec des produits chimiques qui avaient été filtrés via l'outil bluesign® bluefinder.

LISTE DES SUBSTANCES RESTREINTES (RSL). L'entreprise poursuit ses efforts pour intégrer des directives RSL strictes dans sa stratégie d'approvisionnement en matériaux. La société a effectué des tests RSL sur certains styles pour garantir la conformité chimique. En utilisant ses directives de gestion des produits chimiques comme ressource fondamentale, l'entreprise vise à réduire et à éliminer les produits chimiques préoccupants des processus de production.

AUDITES. Les audites fournissent un aperçu du système de gestion environnementale d'une installation, en mettant l'accent sur l'utilisation de l'énergie et de l'eau, les rejets d'eaux usées, les émissions atmosphériques, l'élimination des déchets et la gestion des produits chimiques. Grâce à ces données, l'entreprise peut identifier les domaines à améliorer et travailler avec ses teintureries pour mettre en œuvre des changements positifs.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

CARBONE. L'entreprise vise à réduire ses émissions de carbone, en utilisant des approches scientifiques pour mesurer l'impact et en investissant dans des solutions qui aideront à parvenir à une économie à faible émission de carbone.

CIBLES BASÉES SUR LA SCIENCE. En 2018, l'entreprise s'est concentrée sur la mesure des impacts carbone dans sa chaîne d'approvisionnement et sur l'établissement d'une référence. En suivant le guide des objectifs scientifiques du secteur de l'habillement et de la chaussure, l'entreprise a pu évaluer où se trouvaient ses plus grands impacts et développer des objectifs réalisables.

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE. Depuis 8 ans, l'entreprise achète des crédits d'énergie renouvelable (CER) certifiés Green-e® pour soutenir l'énergie éolienne pour 100 % de la consommation électrique de ses magasins et espaces corporatifs.

EMPREINTE. Pour mesurer l'impact, la société suit les directives du protocole sur les gaz à effet de serre pour la comptabilisation du carbone et se réfère à l'indice de durabilité des matériaux de Higg pour comprendre les impacts du cycle de vie de ses produits.

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE. L'entreprise a établi une référence 2015 pour améliorer son efficacité énergétique de 20 % d'ici 2020. En effet, l'entreprise a reconnu un besoin accru d'investir dans l'efficacité énergétique afin de s'engager véritablement dans ses objectifs et de lutter contre le changement climatique.

GASPILLAGE. « Chez EILEEN FISHER, nous pensons que la confection de vêtements est un engagement à vie. Nous concevons nos vêtements pour qu'ils durent, mais lorsque notre client en a fini avec eux, nous les reprenons pour qu'ils soient régénérés ou refaits en de nouveaux modèles. C'est ainsi que nous assumons la responsabilité de ce que nous fabriquons et où cela aboutit ».

RENOUVELER. En 2009, l'entreprise a mis en place un programme de reprise et de réutilisation qui préserve la valeur de ses vêtements et imagine un avenir sans gaspillage.

Voici quelques faits saillants de reprise pour 2019 :

- ✓ En 2019, le nombre de vêtements repris a augmenté de 17 %.
- ✓ Croissance de 14 % du nombre d'unités reprises vendues
- ✓ L'entreprise a lancé un nouveau système d'inventaire, Fishbowl, pour prendre en charge le suivi et la planification continus de 100 000 unités d'inventaire endommagé.

Environ 25 % des vêtements que l'entreprise reprend sont endommagés de manière irréparable. Au lieu de les envoyer dans une décharge, l'entreprise déconstruit ces pièces et ressoude le tissu restant pour créer des designs entièrement nouveaux.

PLUS DE DÉCHETS. Waste No More offre une solution évolutive unique pour la réutilisation des vêtements endommagés par feutrage à l'aiguille. En 2019, l'entreprise a utilisé 11 000 unités de

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

vêtements endommagés pour créer des décorations murales feutrées, des articles pour la maison et des accessoires. La société a également lancé une collection d'accessoires de mode et d'articles pour la maison Waste No More.

CYCLE DE VIE DU PRODUIT. L'initiative Cycle de vie du produit (Product Life Cycle (PLC)) a été lancée pour aider à réduire le temps nécessaire pour qu'un vêtement soit conçu, fabriqué et expédié aux magasins en créant des processus plus efficaces. CALENDRIER DU CYCLE DE VIE DU PRODUIT : en 2019, la société a mis en place un calendrier PLC pour cartographier tous les processus commerciaux de haut niveau, de la conception d'une saison jusqu'à ce que le produit soit disponible à l'achat par le client final.

Principaux objectifs à atteindre tout au long du processus PLC :

1. Fournir de la transparence à toutes les équipes tout au long du processus ainsi que des informations sur le déroulement de la saison.
2. Identifier les domaines d'opportunité pour les améliorations des processus d'affaires.
3. Équilibrez le temps consacré à chaque partie du processus et hiérarchisez les tâches qui aideront l'entreprise à évoluer et à se développer.
4. Comprendre quelles décisions sont critiqué, quand ces décisions doivent être prises et les implications financières.
5. Développer des indicateurs de performance clés (KPI) pertinents qui permettent à l'entreprise de s'améliorer.
6. Transporter plus de marchandises par mer, ce qui est moins coûteux et plus conforme aux objectifs de durabilité.
7. Améliorez le bien-être des fournisseurs en leur fournissant des informations précises plus tôt dans le processus, ce qui leur permet de mieux planifier leur charge de travail.

3. Etude de cas : Nudie Jeans [*7*]

L'idée de durabilité fait partie de l'entreprise depuis 2001. Le premier jean Nudie en coton biologique a été produit en 2004. En 2006, l'objectif du 100 % coton biologique a été présenté aux fournisseurs. En 2012, Jeans Nudie a lancé la première collection de denim 100 % coton biologique. De plus, la même année, le concept de « Réparation en magasin » a été officiellement lancé. En 2013, la société a lancé le Guide de production, un moyen transparent de visualiser la production des Jeans Nudie. Les jeans réutilisables ont été introduits dans les ateliers de réparation. En 2017, la société a atteint des produits 100% coton biologique. En 2019, le Jeans Nudie a commencé à cartographier les émissions de CO_2 de l'ensemble de sa chaîne d'approvisionnement.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Aujourd'hui, avec l'industrie à bord et en investissant dans des matériaux et des processus de production durables, le Jeans Nudie se penche sur la façon dont il peut intégrer des pratiques durables du côté de la vente au détail. La prochaine étape consiste à améliorer son service de réparation. Grâce aux réparations, le Jeans Nudie prolonge la durée de vie des vêtements et évite que les déchets textiles ne soient jetés. La marque a réparé 55 000 paires de jeans dans ses propres magasins en 2018. L'entreprise compte actuellement 32 ateliers de réparation dans le monde. Dans un futur proche, l'entreprise devra investir dans une formation supplémentaire et trouver des employés intéressés par le processus de réparation.

Dans son rapport de développement durable 2019, l'entreprise a déclaré travailler avec les ODD 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17.

MATÉRIAUX

Avant que le concept de circularité ne devienne populaire dans le secteur de l'habillement, l'entreprise a décidé de travailler uniquement avec du coton biologique. Il s'agissait d'une première étape pour atténuer l'impact environnemental au niveau de la fibre. En utilisant du coton biologique, l'entreprise adhère à l'ODD 15 « Vie sur terre ». En particulier, l'entreprise peut avoir un impact sur la cible 15.1 (conservation, restauration et utilisation durable des écosystèmes d'eau douce terrestres et intérieures et de leurs services) et sur la cible 15.5 (Arrêter la perte de biodiversité).

CONCEPTS DE DURABILITÉ APPROUVÉS

- ✓ Circularité
- ✓ Fibres recyclables
- ✓ Fibres recyclées
- ✓ Pré-consommation recyclé
- ✓ Recyclé post-consommation
- ✓ Biodégradable
- ✓ Compostable

PRODUCTION

« Nos clients ne sont pas seulement intéressés par la qualité des produits qu'ils achètent ; ils se soucient également du travail derrière les produits et des conditions sociales et environnementales de leurs processus de production ».

La production est pensée en fonction de cette indication. Ainsi, la production de Jeans Nudie est liée à certains des ODD les plus pertinents.

ODD 8 Travail décent et croissance économique. En particulier la cible 8.5 (un travail décent pour tous) ; 8.8 (promouvoir des environnements de travail sûrs et sécurisés). L'entreprise suit son code de

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

conduite pour garantir un meilleur environnement de travail dans l'ensemble de sa chaîne d'approvisionnement. Tous les fournisseurs sélectionnés sont tenus de se conformer au Code de conduite. En 2019, l'entreprise avait 96% des fournisseurs sous surveillance.

ODD 12 Production et consommation responsables. L'idée est d'inciter les clients à choisir une consommation plus durable (cible 12.1). De plus, l'entreprise vise à minimiser l'utilisation de produits chimiques nocifs pour créer un environnement de travail sûr dans les usines et pour garantir l'accès à une eau sûre et propre (conformément à l'objectif 12.4, parvenir à une gestion écologiquement rationnelle des produits chimiques et de tous les déchets tout au long de leur cycle de vie) . L'entreprise a interdit plusieurs produits chimiques nocifs d'utilisation dans la fabrication. Entre autres, les phtalates, les éthoxylates d'alkylphénol (APEO) et les produits chimiques perfluorés sont interdits d'utilisation intentionnelle dans les processus de production de Jeans Nudie. De plus, l'entreprise révise et met à jour la politique chimique des Jeans Nudie une fois par an. Cette politique est basée sur la législation chimique européenne REACH.

ODD 13 Action climatique. En 2019, l'entreprise a rejoint l'Initiative textile suédoise pour l'action climatique (STICA) et a commencé à cartographier toutes les émissions conformément à la méthodologie du Protocole sur les gaz à effet de serre (cible 13.2 Intégrer les mesures de lutte contre le changement climatique dans les politiques, stratégies et planification).

PHASE UTILISATEUR DES PRODUITS

L'entreprise a décidé en 2012 de faire un pas de plus vers la durabilité en lançant l'initiative « Réparation en magasin ». Les magasins ont une station de réparation interne. Les ateliers de réparation en Suède, au Royaume-Uni, aux États-Unis, à Oslo, à Amsterdam et à Munich disposent tous d'un système de gestion environnementale intégré appelé Miljödiplom (diplôme environnemental) basé sur la norme suédoise.

L'entreprise a adopté la devise « Inciser, réparer, réutiliser, recycler ».

- **Inciser** : le jean n'est pas conçu pour être porté quelques fois puis jeté. La recommandation aux utilisateurs est de porter leur jean Nudie sec au moins 6 mois avant le premier lavage. Ne pas laver les jeans trop souvent est une partie importante du processus de rodage. Aérer au lieu de laver permettra également d'économiser de l'eau, et c'est la première partie du cycle écologique intelligent mais simple.
- **Réparer** : la réparation fait partie de l'ADN du jean, en encourageant les gens à se soucier de la vraie valeur du vêtement, qui est un élément crucial d'une culture de consommation plus durable. L'entreprise propose des réparations gratuites dans ses magasins. Si l'utilisateur ne peut pas se rendre en boutique, il est possible de commander un kit de réparation gratuit sur

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

le site Internet. De plus, en 2018, l'initiative Mobile Repair Station a été lancée afin de réparer davantage de jeans.

- **Réutiliser** : au-delà de la réparation, l'usage des vêtements peut être prolongé par des échanges avec d'autres, en les offrant ou en les déposant dans des friperies, ou en les redessinant ou en les revendant. L'entreprise offre une remise de 20 % sur une nouvelle paire lorsque les clients remettent une vieille paire de jeans Nudie. De cette façon, les clients sont incités à s'engager non seulement dans le service de réparation, mais aussi dans l'activité circulaire de retour des jeans dont ils ne veulent plus ou dont ils n'ont plus besoin. D'autre part, l'entreprise peut obtenir des jeans post-consommation pour les revendre en tant que réutilisation ou pour les utiliser dans d'autres projets circulaires, tels que la production de casquettes, chapeaux, sacs à dos, chiffons, etc.
- **Recycler** : le recyclage est considéré comme la dernière étape pour boucler la boucle. Pour intensifier ses idées circulaires, l'entreprise a besoin d'un apport constant de son propre denim à utiliser comme matière première post-consommation. En 2019, l'entreprise a collecté plus de 11 573 paires de jeans Nudie post-consommation dans ses ateliers de réparation. De cette façon, l'entreprise peut continuer à prolonger la durée de vie de la fibre de coton. Dans le 2019, il a été lancé The Rebirth Capsule. Il se composait de trois pièces : un jean sec, une veste en jean sec et un t-shirt, le tout composé à 20 % de coton recyclé post-consommation. Les fibres de coton recyclé utilisées dans les produits en denim provenaient directement de jeans Nudie antérieurs, ce qui signifie que les nouveaux jeans et veste Nudie sont composés à 20 % de jeans Nudie recyclés, d'où le nom – Rebirth. Le reste de la composition matérielle des produits en denim est composé à 79 % de coton biologique vierge et à 1 % d'élasthanne vierge, tandis que le tissu du t-shirt se compose de 20 % de fibres de coton recyclées post-consommation externes et de 80 % de coton biologique vierge.

Références

[1] Commission of the European Communities (2001, July.18). *Green Paper: Promoting a European framework for Corporate Social Responsibility*. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/DOC_01_9 [Consulté : Avril 26, 2021].

[2] A Brackley, B. York, N. Ledsham. *What's next for sustainable business?* The SustainAbility Institute by ERM Group. [Online]. Disponible sur : https://www.sustainability.com/thinking/2020-sustainability-trends/ [Consulté : Mai 24, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[3] L. Scott, A. McGill, *Creating a strategy for a better world. How the Sustainable Development Goals can provide the framework for business to deliver progress on our global challenges.* PWC SDG challenge 2019. [Online]. Disponible sur : https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/SDG/sdg-2019.pdf [Consulté : Mai 24, 2021].

[4] D.C. Chou, H.G. Chen, "Corporate Social Responsibility and Green IT: the linkage and case analysis", *PACIS 2016 Proceedings.* [Online]. Disponible sur : https://internationalgbc.org/wp-content/uploads/2021/07/0891_301369634.pdf [Consulté : Mai 25, 2021].

[5] Impronta Etica. *Imprese e Agenda 2030: strumenti e buone pratiche per un approccio strategico*. Impronta Etica, Bologna, 2019

[6] Media. *Eileen Fisher 2019 Benefit Corporation Report.* Eileen Fisher Foundation. [Online]. Disponible sur : https://www.eileenfisher.com/ns/images/behind_the_label/benefit-corp-report-2019-FINAL-rc.pdf [Consulté : Avril 26, 2021].

[7] Nudie Jeans. *Sustainability report 2019*. Nudie Jeans. [Online]. Disponible sur : https://api.fairwear.org/wp-content/uploads/2020/06/Nudie-Jeans-social-report-2019.pdf [Consulté : Mai 24, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : quelles sont les grandes étapes de la stratégie d'intégration des ODD dans l'entreprise ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) La sensibilisation ; l'analyse interne ; l'innovation comme opportunité ; l'intégration dans la stratégie et la planification ; le rapportage ; la communication.

b) La sensibilisation ; l'innovation comme opportunité ; l'intégration dans la stratégie et la planification ; la communication

c) La sensibilisation ; l'analyse interne ; l'intégration dans la stratégie et la planification ; le rapport.

Question 2 : quelle est la devise des Jeans Nudie dans la phase utilisateur des produits ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Inciser, réparer, réutiliser, recycler

b) Inciser, réutiliser, recycler

c) Inciser, réparation, recycler

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 7.3 Économie circulaire et neutralité climatique : un défi du XXIe siècle

Ilias Tsapogas
CRE.THI.DEV

1. A l'aube d'une décision cruciale pour l'humanité

Au cours des dernières décennies, les sociétés et les gouvernements du monde sont confrontés à la menace croissante du changement climatique et de la pollution de l'environnement en raison des moyens de production et du mode de vie actuels. L'industrie dominante et les sources d'énergie traditionnelles sont basées sur des produits à base de carbone qui libèrent une énorme quantité de gaz à effet de serre. De telles émissions atmosphériques affectent le climat et conduisent à une augmentation de la température globale. D'autre part, les niveaux actuels de consommation et de mode de vie consumériste produisent des milliards de déchets qui polluent notre environnement, la terre et l'eau de notre planète. Les Nations Unies déclarent que "Selon les dernières projections, la population mondiale pourrait atteindre environ 8,5 milliards en 2030, 9,7 milliards en 2050. L'équivalent de près de trois planètes pourrait être nécessaire pour fournir les ressources naturelles nécessaires au maintien des modes de vie actuels" [1]. Nous devons toujours garder à l'esprit ces faits et ces prédictions scientifiques.

Nous pouvons retracer les causes du changement climatique et de la dégradation de l'environnement dans presque tous les aspects de la production et de la consommation, pour n'en nommer que quelques-uns : la façon dont nous produisons notre nourriture, nos vêtements et nos chaussures ; comment nous construisons généralement nos maisons et autres bâtiments ; quels sont nos moyens de transport; et comment nous nous divertissons. Par conséquent, il est important de considérer la façon dont nous traitons nos consommables et la quantité de déchets que nous produisons. La tendance actuelle doit changer avant qu'il ne soit trop tard ! La Commission européenne s'est fixée pour objectif d'avoir zéro émission de gaz à effet de serre d'ici 2050 et de devenir climatiquement neutre. Le mot clé pour gagner cette bataille est l'économie circulaire.

Pour atteindre les objectifs, la planification de l'UE considère un axe environnemental et social. Il est essentiel de cesser d'être une menace pour notre environnement et pour nous-mêmes, tout en étant prudent pour comprendre les effets que les réformes entreprises de la production et de l'emploi auront sur le plan social, en accordant une attention particulière à la mise en place de Justice. Les changements dans la production et la consommation doivent être faits, non seulement en ne laissant

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

personne de côté, mais aussi en augmentant l'égalité sociale et en améliorant la qualité de vie de tous les citoyens du monde.

1.1. Ère anthropocène

Dans la section précédente, nous avons parlé de l'impact qu'aura la croissance de notre population sur notre écosystème planétaire si le mode de vie actuel est maintenu. Nous devons noter avec audace que la véritable menace pour notre écosystème n'est pas le simple nombre de population mais le mode de vie des citoyens du monde développé. En fait, seulement 8% de la population humaine est responsable de 85% du changement climatique alors que le reste de la population y contribue très peu. Mais cela va changer puisque de plus en plus de pays en développement progressent et que les moyens de production continuent d'être insoutenables. C'est une grande opportunité maintenant de faire le saut vers le développement durable et d'apporter une solution décisive aux problèmes de pauvreté et de justice sociale. Les scientifiques se réfèrent à l'ère que nous vivons comme l'âge anthropocène.

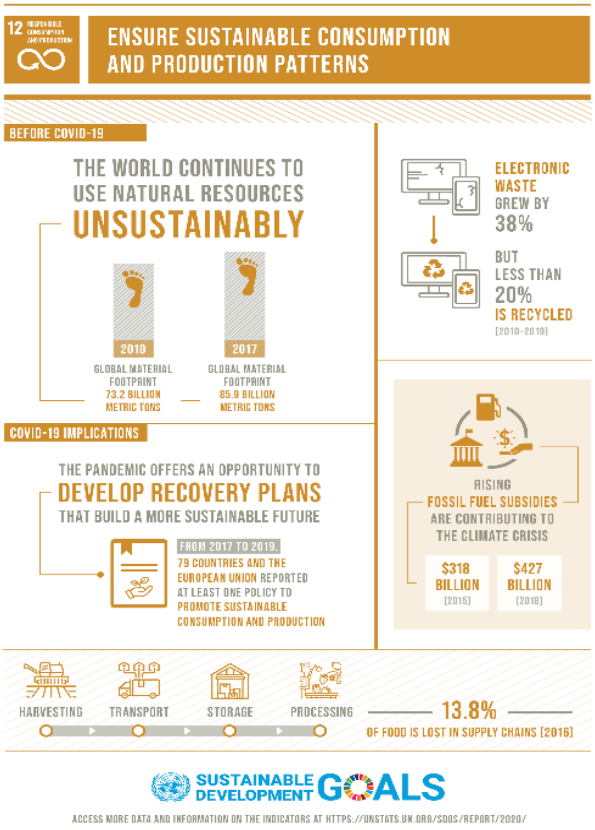


Figure 1. Infographie des Nations Unies sur la production et la consommation responsables [[22]]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'anthropocène succède à l'ère holocène, qui a duré les 12 000 dernières années, depuis la dernière période glaciaire, une ère caractérisée par la stabilité du climat de la planète et la prévisibilité des saisons. Mais cette époque de stabilité qui favorisait le développement des sociétés humaines et le bien-être a finalement pris fin. En 1955, 10 ans après la fin de la Seconde Guerre mondiale, l'humanité a dépassé le seuil que le scientifique a identifié comme le point clé où les émissions de gaz commencent à avoir un impact négatif et à déstabiliser le climat. En 1988, nous avons dépassé 350 parties par million de dioxyde de carbone dans l'atmosphère terrestre. Depuis lors, nous risquons de déclencher des changements qui conduisent à un réchauffement incontrôlé [2]. De plus, selon le professeur Johan Rockstorm de l'Institut de Potsdam pour la recherche sur l'impact climatique, nous sommes actuellement à un point de concentration de dioxyde de carbone de 415 ppm dans l'atmosphère. 350 ppm était un seuil d'entrée dans la zone à risque. 450 ppm est un seuil que si nous le franchissons, nous entrons dans une zone à haut risque [3]. Depuis la révolution industrielle, nous avons émis 2400 milliards de tonnes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Pour maintenir la hausse de la température en dessous de 1,5 degré Celsius, nous ne pouvons libérer que 300 milliards de tonnes de plus. Avec le taux actuel de libération de 40 milliards de tonnes de dioxyde de carbone chaque année, nous n'avons que 7 ans environ pour atteindre ce point de non-retour. La seule façon de survivre est de courber cette courbe en réduisant de moitié les émissions de dioxyde de carbone tous les dix ans.

Au cours de la période Holocène, la température annuelle sur la planète était stable à +-1 degré Celsius. Au cours des dernières décennies, la température a commencé à monter. La preuve la plus alarmante du réchauffement climatique se trouve dans les régions polaires. Les pôles terrestres jouent le rôle le plus important dans la stabilité du climat d'une planète, car les énormes masses glaciaires sont des surfaces réfléchissantes qui renvoient environ 95 % de la chaleur du soleil vers l'espace. Mais l'activité humaine au cours des dernières décennies a conduit à l'extinction de 40% de la banquise aux pôles pendant les périodes estivales par rapport à 1980 [4]. Alors que les énormes masses glaciaires continuent à être décimées, la température des océans se réchauffe, ce qui déclenche une série d'effets qui créent des phénomènes météorologiques intenses et rendent le climat mondial moins prévisible.

Un autre facteur très important pour la stabilisation du climat de la planète sont les forêts tropicales, comme celle d'Amazon, car les forêts tropicales jouent un rôle énorme pour bloquer les émissions de carbone et produire de l'oxygène. La forêt tropicale amazonienne est fortement décimée et fragmentée, et progressivement sa capacité à stocker l'approvisionnement en eau se perd, si cela ne s'arrête pas, cela conduira finalement à la mort des arbres, à la conversion de la forêt tropicale en savane et à la libération d'énormes quantités de carbone. Carlos Nobre de l'Institute of Advanced Studies University Sao Paulo déclare que 60% des terres laissées par la déforestation mondiale ont été utilisées pour produire du bœuf et 30% pour produire des cultures, principalement du soja en Amérique latine et de l'huile de palme en Asie du Sud-Est. Carlos Nobre nous prévient qu'Amazon pourrait libérer 200 milliards de tonnes au cours des 30 prochaines années, ce qui équivaut à tout le carbone émis dans le monde au cours des 5 dernières années. Le militant écologiste hindou Oumarou

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Ibrahim nous raconte l'histoire du lac Tchad. Il y a 50 ans, le lac Tchad était de 25 000 kilomètres carrés d'eau. À ce jour, 90 % de l'eau s'est évaporée.

On estime que les ¾ des terres de notre planète et les 2/3 des océans sont impactés par les actions humaines. 90% des populations de prédateurs océaniques comme le thon, les requins et l'espadon ont disparu. À la surface de la terre, 96 % des mammifères sont des humains et des animaux domestiques, seulement 4 % sont des animaux sauvages. La biodiversité de notre écosystème, qui est celle qui stabilise le temps, est fortement attaquée par les activités humaines. Nous avons franchi le seuil de l'âge de l'Anthropocène où nous, les humains, sommes ceux qui façonnent toute la biosphère. Maintenant, c'est nous qui avons l'avenir de notre planète et de nous-mêmes entre nos mains. Ce qui nous donne de l'espoir, c'est que la science, alors qu'elle était la force motrice qui a mis les humains sur le rôle d'affecter la planète et l'écosystème, a maintenant tellement avancé qu'elle peut déterminer les « limites » de notre écosystème et l'impact de nos actions sur celui-ci. et nous donne un message clair : « nous changeons notre façon de produire et de consommer, nous respectons la biodiversité et toutes les espèces vivantes de la biosphère et nous continuons à vivre et à prospérer sur une planète vivante, ou nous continuons obstinément notre façon non durable d'exploiter le pouvoir et ressources naturelles et mener à notre extinction plus tôt que nous ne pouvons l'imaginer

2. Le Protocol de Kyoto

Le Protocole de Kyoto a été signé le 11 décembre 1997 où des décisions substantielles pour les futures actions internationales sur le changement climatique ont été prises et après un processus de ratification complexe, il est entré en vigueur le 16 février 2005. À ce jour, le Protocole de Kyoto est signé par 192 parties. Le Protocole de Kyoto est basé sur la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), aussi appelée la Convention qui est entrée en vigueur le 21 mai 1994, et qui a succédé au Protocole de Montréal (1987). Ces protocoles ont l'importance d'évoquer le danger du changement climatique et les conséquences de l'activité humaine à des moments où ceux-ci n'étaient pas aussi évidents qu'aujourd'hui et où toutes ces preuves scientifiques n'étaient pas disponibles, il est donc très important que malgré l'incertitude scientifique les parties ont convenu qu'il y avait en fait une menace très importante qui devrait être traitée par l'humanité dans son ensemble et avec les pays développés sur le front de la lutte, étant responsables de la plus grande partie de l'impact humain. Ils fixent également le calendrier de la stratégie qui sera suivie dans les décennies à venir, afin de laisser les économies et les écosystèmes s'adapter. L'objectif ultime est de contrôler les émissions de gaz à effet de serre et de les maintenir à des niveaux qui ne constituent pas une menace pour le climat. Les pays développés au titre de la convention sont appelés pays de l'annexe I et appartiennent à l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et comprennent également 12 pays à "économies en transition" d'Europe centrale et orientale [5]. Les pays de l'annexe I convenus par la l'an 2000 pour avoir réduit les émissions de GES aux niveaux de 1990. Les pays de l'annexe I se sont engagés à rendre compte régulièrement de leurs politiques et mesures en matière de changement climatique et à déclarer également leurs émissions de GES pour

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

chaque année depuis l'année de référence 1990. D'autre part, la Convention tient compte du fait que la croissance économique des pays en développement est également vitale, de sorte que les économies développées doivent aider à financer les pays en développement. Il est également tenu compte du secteur de la production alimentaire qui doit être protégé.

L'annexe A du protocole de Kyoto fixe l'objectif de réduction des émissions des 6 principaux gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone (CO2), le méthane (CH4), l'oxyde nitreux (N2O), les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre. (SF6). Sur l'annexe B du protocole, 37 pays industrialisés se sont engagés à réduire leurs émissions de GES et durant la 1ère période d'engagement (2007-2012), les 37 pays ont tous réussi leur objectif et ont abouti à une réduction de 5% des émissions par rapport à l'année 1990. Malgré ce fait, en 2010, les émissions mondiales ont augmenté de 32% par rapport à l'année 1990 [6]. On December 8th 2012, in Doha, Qatar, was signed the Doha Amendment to the Kyoto Protocol, which began the 2nd commitment period that will last from 2013 until 2020. The Doha amendment hasn't been put into force yet because it required the ratification by 144 parties. Le 8 décembre 2012, à Doha, au Qatar, a été signé l'amendement de Doha au protocole de Kyoto, qui a commencé la 2ème période d'engagement qui durera de 2013 à 2020. L'amendement de Doha n'a pas encore été mis en vigueur car il nécessitait la ratification par 144 parties. En octobre 2020, l'amendement avait déjà été accepté par 147 parties, il entrera donc bientôt en vigueur. Les pays développés qui se sont retirés du protocole de Kyoto ou qui ne l'ont pas ratifié pour la 2e période d'engagement sont le Canada et les États-Unis d'Amérique.

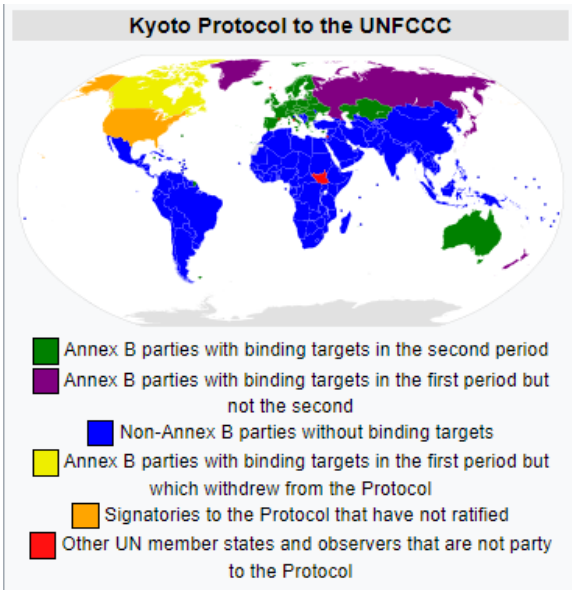


Figure 2. Protocole de Kyoto de l'UNFCCC [[23]]

Figure 3. Amendement de Doha au Protocole de Kyoto [[23]]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.1. Le mécanisme du protocole de Kyoto

Le protocole de Kyoto a présenté certains mécanismes de marché qui fourniraient de nouvelles façons de mieux atteindre les objectifs des parties. Ces mécaniques sont :

● Échange international d'émissions : les émissions autorisées pour les parties de l'annexe B sont divisées en unités de quantité attribuée (UQA). Les pays qui n'ont pas dépassé leurs unités d'émissions autorisées ont la possibilité de vendre les unités qu'ils n'ont pas utilisées à d'autres pays qui ont dépassé leurs objectifs.

● Mécanisme de développement propre (MDP) : Les pays de l'Annexe B ont la capacité d'exécuter un projet de réduction des émissions dans les pays en développement. Ce faisant, ils obtiennent des crédits de réduction certifiée des émissions (CER) vendables, chacun équivalant à une tonne de CO2.

● Mise en œuvre conjointe : Ce mécanisme permet aux pays de l'annexe B de gagner des unités de réduction d'émissions (URE) à partir d'un projet de réduction d'émissions mis en œuvre dans un autre pays de l'annexe B, chacune équivalant à une tonne de CO2.

3. L'accord de Paris

Le 12 décembre 2015 s'est tenue à Paris la 21ème session de la Conférence des Parties (COP) qui était aussi la 11ème session de la réunion des Parties signataires du Protocole de Kyoto (CMP). Cette 21e COP a été ratifiée par 196 parties et est entrée en vigueur le 4 novembre 2016. L'objectif principal de l'Accord de Paris est de limiter la hausse des températures bien en dessous de 2 et si possible à 1,5 degrés Celsius par rapport à la période précédant la révolution industrielle. L'augmentation de la température moyenne de la planète au cours des dernières décennies est significative. Il faut une quantité incroyablement grande d'énergie produite par l'homme pour augmenter la température des océans, dont la taille et la capacité sont si grandes. La température de la Terre a augmenté de 0,14° F (0,08° C) par décennie depuis 1880, et le taux de réchauffement au cours des 40 dernières années est plus du double : 0,32° F (0,18° C) par décennie depuis 1981 [7]. Dans l'ensemble, il y a eu une augmentation de 2 degrés Celsius de la température de surface moyenne mondiale depuis 1880.

L'Accord de Paris est significatif car c'est la première fois que toutes les nations s'unissent dans un accord contraignant pour lutter contre le danger commun du changement climatique et entreprendre des actions et des réformes très importantes dans les domaines économique et social. Seuls six membres de la CCNUCC n'ont pas ratifié le traité, parmi lesquels la Turquie et l'Iran, tandis que les États-Unis d'Amérique se sont retirés de l'accord en 2020 sous la direction de Donald Trump mais l'ont rejoint à nouveau en 2021 dès que Joe Biden est devenu président [8]. Les plans qui seront suivis dans cette lutte utiliseront les réalisations de la technologie actuelle afin de réaliser ces réformes mondiales de presque toutes les manières dont nous, les humains, interagissons avec notre environnement.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

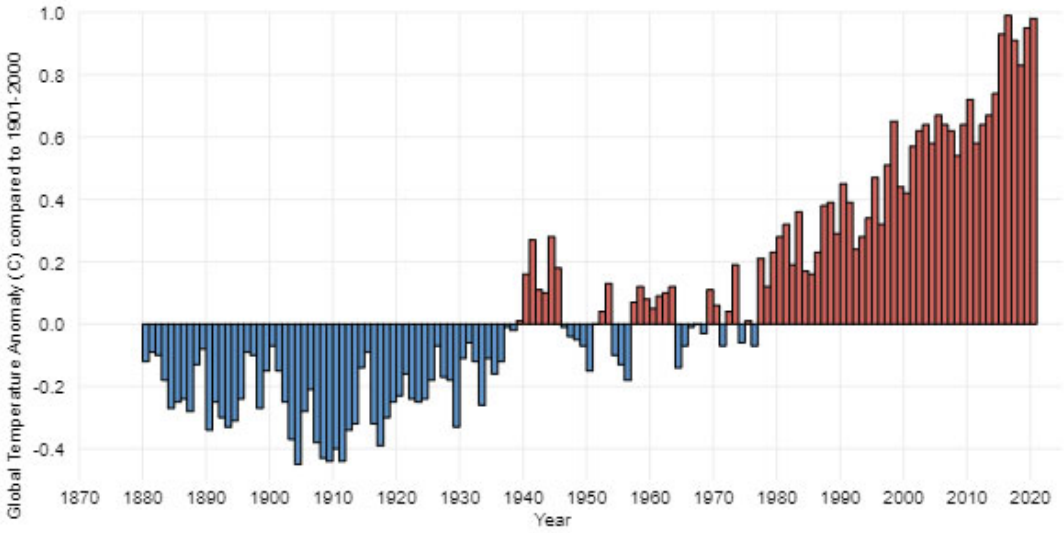


Figure 4. Historique des changements de température de surface mondiale depuis 1880 [[24]]

Il a été décidé qu'un cycle de 5 ans pour que les pays entreprennent des actions très ambitieuses contre le changement climatique et en 2020 les pays devaient soumettre leurs plans nationaux d'action pour le climat appelés contributions déterminées au niveau national (NDC).

Figure 5. Accord de Paris [[23]]

Dans leurs CDN, les pays soumettront leur stratégie pour réduire les émissions de GES et aussi pour renforcer la résilience afin de s'adapter aux impacts de la hausse des températures [9]. Ensuite, d'ici 2020, les pays devraient soumettre leur vision à long terme pour faire face aux émissions de GES et

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

renforcer la résilience aux effets du changement climatique. Ces plans à long terme sont appelés stratégies de développement à long terme à faibles émissions de gaz à effet de serre (LT-LEDS) et contrairement aux NDC, ils ne sont pas obligatoires mais ils structurent le cadre général dans lequel les NDC seront formés. L'horizon ultime pour le LT-LEDS est l'année 2050 à laquelle les parties se sont engagées à vivre sur une planète sans émissions de GES et le climat et l'écosystème auront été préservés.

3.1. Les outils pour atteindre ces objectifs

Les outils décidés par les parties à utiliser pour atteindre ces objectifs ambitieux pourraient se résumer en ceux-ci : la solidarité des pays développés et économiquement plus forts envers les pays en développement et la pleine exploitation des avancées technologiques actuelles. En particulier, l'Accord de Paris a élaboré un cadre pour aider les parties à atteindre ces objectifs et ce cadre comprend :

● Soutien financier : le traité repose sur le principe selon lequel les pays développés devraient jouer le rôle principal dans cette lutte en apportant un soutien financier aux moins développés. Il y a une nécessité d'investissements à grande échelle pour réussir la migration vers les nouveaux modes de production et cela ne peut se faire sans une aide financière aux parties les plus vulnérables de l'accord.

● Technologie : c'est un gros pari pour l'Accord de Paris de réaliser pleinement la technologie actuelle. Aujourd'hui, la technologie a fait d'énormes progrès et il appartient à l'humanité de s'en servir pour améliorer notre vie et protéger notre écosystème.

● Renforcement des capacités : un autre facteur important est qu'il existe des pays en développement qui n'ont pas les capacités nécessaires pour faire face aux défis du changement climatique. Encore une fois, l'Accord de Paris oblige les pays développés à aider au renforcement des capacités liées au climat dans les pays en développement.

L'Accord de Paris a établi un cadre de transparence renforcé (ETF) pour permettre aux pays, à partir de l'année 2024, de rendre compte de manière transparente des actions qu'ils ont entreprises pour réduire les émissions de GES et renforcer la résilience aux effets du changement climatique, le soutien qu'ils ont fourni ou ont reçu à destination et en provenance d'autres pays. Les pays doivent fournir ces rapports pour examen. Ensuite, ces rapports seront évalués par le Bilan mondial afin d'examiner la situation actuelle par rapport aux objectifs à long terme. Ce faisant, le Bilan mondial conseillera aux parties d'entreprendre des mesures et des plans plus ambitieux si nécessaire.

Il est vrai que les parties à l'accord de Paris n'ont pas rempli tous les objectifs fixés, de nombreux pays sont encore aux prises avec les défis de la décarbonation, mais les réalisations jusqu'à présent sont notables. De nouvelles solutions bas carbone et de nouveaux marchés ont été créés. En particulier dans les pays les moins avancés, des énergies renouvelables ont été fournies à plusieurs millions de

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

personnes, tandis que de nouveaux emplois et opportunités d'investissement se sont multipliés. A ce jour, les solutions zéro carbone sont devenues compétitives dans des secteurs représentant 25% des émissions totales, notamment dans le secteur de l'énergie et des transports. On estime que d'ici 2030, ce pourcentage pourrait atteindre 75 %.

4. L'accord vert européen

L'UE s'est engagée à être climatiquement neutre d'ici 2050. La vision de la Commission est conforme à l'objectif de l'accord de Paris sur le climat de maintenir l'augmentation de la température mondiale bien en deçà de 2°C et de faire de gros efforts pour la maintenir à 1,5°C.

Afin d'atteindre les objectifs de développement durable, la Commission a défini un certain nombre de politiques et d'initiatives qui couvrent toutes les dimensions du problème, afin de trouver des solutions appropriées à chaque secteur de production, dans une approche holistique. Tous les secteurs de la société et de l'économie joueront un rôle, du secteur de l'électricité à l'industrie, en passant par la mobilité, les bâtiments, l'agriculture et la sylviculture [10].

L'UE peut montrer la voie en investissant dans de véritables solutions technologiques, en donnant aux citoyens les moyens d'agir et en alignant les actions dans des domaines clés tels que la politique industrielle, la finance et la recherche, tout en garantissant l'équité sociale pour une transition juste [11].

Dans le cadre du Green Deal européen, afin de renforcer sa stratégie de neutralité climatique à l'horizon 2050, la Commission a proposé le 4 mars 2020 une loi européenne sur le climat.

La présidente Ursula von der Leyen a déclaré : « Nous agissons aujourd'hui pour faire de l'UE le premier continent climatiquement neutre au monde d'ici 2050. La loi sur le climat est la traduction juridique de notre engagement politique et nous place de manière irréversible sur la voie d'un avenir plus durable. C'est le cœur du Green Deal européen. Il offre prévisibilité et transparence pour l'industrie et les investisseurs européens. Et cela donne une orientation à notre stratégie de croissance verte et garantit que la transition sera progressive et équitable. [12].

5. Concevoir des produits durables

Alors que jusqu'à 80 % de l'impact environnemental des produits sont déterminés lors de la phase de conception, le schéma linéaire "prendre-faire-utiliser-jeter" n'incite pas suffisamment les producteurs à rendre les programmes plus circulaires [13]. L'économie circulaire est en fait l'imitation par l'homme des processus naturels. Dans la nature, il n'y a pas de déchets, tout est recyclé et c'est un processus qui fonctionne et nous devrions en tirer des leçons et remplacer notre système défectueux. Kate Raworth de l'Environmental Change Institute déclare que « les déchets d'un processus deviennent de la nourriture pour le suivant. En fait, les déchets n'existent pas, les déchets ne sont qu'une ressource au

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

mauvais endroit. C'est même vrai pour le dioxyde de carbone, c'est vrai pour le plastique, c'est vrai pour tout ce que nous pensons jeter, il n'y a pas de solution. [14].

Afin de passer à une approche circulaire pour l'économie de l'UE, les initiatives législatives de l'UE inciteront les producteurs et les consommateurs à s'adapter. Dans de nombreux cas, cela doit être fait sur une base volontaire plutôt que sur une base obligatoire, il appartient donc aux entreprises et aux personnes de faire preuve de responsabilité. Dans certains cas, la législation de l'UE imposera des amendes et interdira certains produits, tandis que dans d'autres cas, elle récompensera les bons efforts déployés pour fournir des produits durables conformes aux initiatives et aux principes énoncés par la Commission. L'UE a déjà des initiatives traitant des questions de durabilité des produits telles que la directive sur l'écoconception, l'écolabel européen et les marchés publics écologiques (MPE) de l'UE, mais elles doivent être mises en œuvre par de nouvelles initiatives plus complètes - par exemple, la directive sur l'écoconception se concentre sur les produits énergétiques, de sorte qu'elle doit être élargi pour inclure toutes les chaînes de valeur clés et, globalement, la gamme de produits la plus large possible. Ces initiatives législatives porteront sur les axes suivants :

1. Prolongation de la durée de vie du produit : créer des produits de meilleure qualité et plus durables qui sont plus faciles à réparer, en mettant l'accent sur l'évolutivité et la réutilisation, afin de créer une culture pour les consommateurs de ne pas jeter les produits rapidement mais de profiter de leur pleine et améliorée cycle de la vie. De plus, pour obtenir la meilleure qualité pour les produits, la présence de produits chimiques dangereux sera abordée et l'accent sera mis sur l'amélioration de l'efficacité énergétique et de la source des produits.
2. Augmenter l'utilisation de matériaux recyclés dans les produits tout en s'assurant que les performances et la sécurité du produit seront préservées.
3. Promouvoir et faciliter la refabrication des produits et le recyclage des déchets au plus haut niveau de qualité possible.
4. Contribuer à la réduction des émissions de carbone au niveau individuel, organisationnel ou national. Introduire et imposer des restrictions à la production et à l'utilisation de produits en plastique à usage unique.
5. Lutter contre l'obsolescence prématurée grâce à des restrictions pour les produits présentant des défauts intégrés conçus pour échouer prématurément et être éliminés.
6. Établir des politiques prohibitives pour la destruction des biens non alimentaires invendus.
7. Fournir des incitations pour les modèles commerciaux de produit en tant que service qui visent à éviter l'utilisation de matériaux en permettant aux clients d'acheter un résultat souhaité plutôt que le produit qui fournit ce résultat.
8. Mobiliser le potentiel de numérisation des informations sur les produits, y compris des solutions telles que les passeports numériques, l'étiquetage et les filigranes, afin de réduire considérablement les emballages et les manuels d'utilisation inclus.
9. Récompenser les produits en fonction de leurs différentes performances en matière de durabilité, notamment en associant des niveaux de performance élevés à des incitations.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

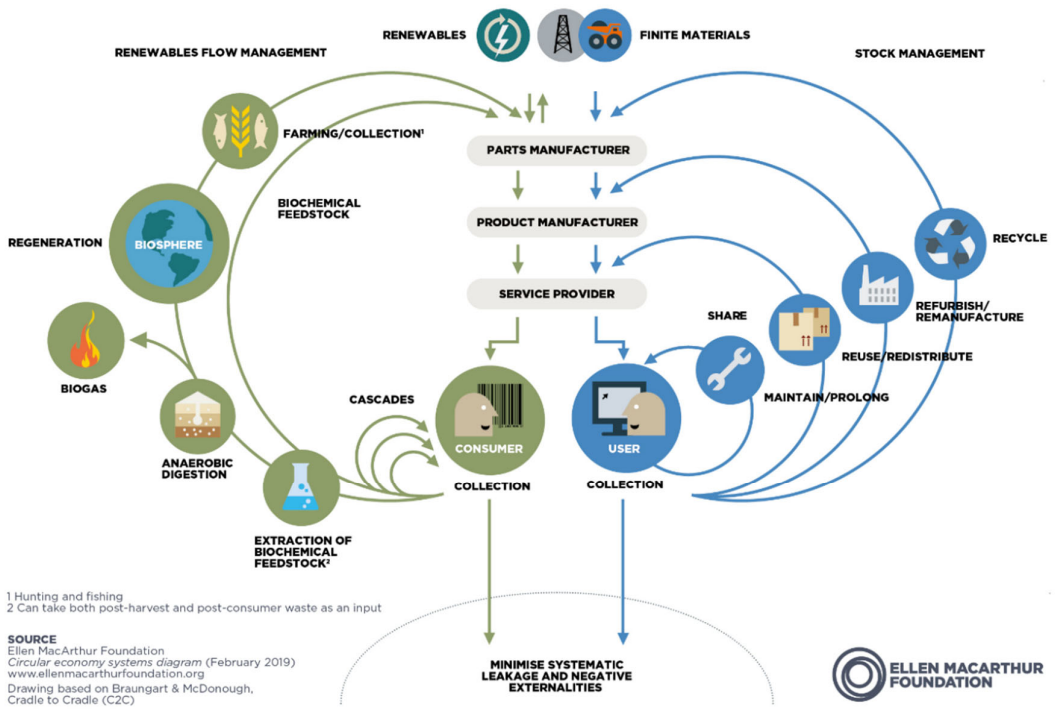


Figure 6. Infographie sur l'économie circulaire [[25]]

Il existe de nombreuses marques dans le monde et aussi suffisamment de colosses de l'industrie qui adoptent rapidement le modèle d'économie circulaire. Voici quelques exemples :

● Timberland a signé un partenariat avec le fabricant de pneus Omni United pour fabriquer des semelles de chaussures à partir de pneus recyclés au lieu d'utiliser du caoutchouc vierge [15].

● Le géant des supermarchés Tesco a annoncé en 2018 son intention de supprimer les matériaux difficiles à recycler des gammes de produits en travaillant uniquement avec des fournisseurs de marque. Tesco aura éliminé les matériaux les plus difficiles à recycler des produits de marque propre d'ici la fin de 2019, en supprimant plus de 4 000 tonnes de matériaux de 8 000 lignes [16].

● Anand Mahindra, président milliardaire du groupe Mahindra, l'une des plus grandes entreprises indiennes, a également choisi la voie durable pour ses lignes de production et, avec d'autres entreprises, a proposé une feuille de route afin de parvenir à une économie post-Covid bénéfique pour les sociétés [17].

● Josh Tetrick, PDG et co-fondateur d'Eat Just, dirige une entreprise de technologie alimentaire qui vise à résoudre les problèmes environnementaux et éthiques de l'exploitation animale de masse en produisant des substituts de viande à base de plantes et de cellules [18].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Ces entreprises travaillent avec des fournisseurs de marque pour garantir la nature durable des matériaux utilisés et le consommateur, avec l'aide de la technologie numérique, aura la capacité d'identifier et de choisir les produits durables grâce à l'utilisation de passeports numériques et de filigranes dont nous avons parlé précédemment. . De cette façon, les gens auront également des informations importantes sur la façon de recycler leurs produits.

5.1 Textiles

On estime que moins de 1 % de tous les textiles dans le monde sont recyclés en nouveaux textiles [19]. Le secteur textile est l'un des plus importants de l'économie mondiale. Alors que les volumes de production ont doublé au cours des 15 dernières années, l'habillement est désormais une industrie mondiale de 1 300 milliards de dollars qui emploie plus de 300 millions de personnes tout au long de la chaîne de valeur [20]. Proportionnellement à la taille et à l'importance du secteur, il y a la demande de matières premières et aussi d'eau, alors que le secteur est le 5ème parmi les chaînes de valeur clés en matière d'émissions de gaz à effet de serre, car le secteur suit un système complètement linéaire de production, de distribution et d'utilisation. , et il n'y a pas de recyclage.

Le secteur textile de l'UE est en crise depuis longtemps et commence à se redresser, mais 60 % de la valeur des vêtements dans l'UE ne sont pas produits à l'intérieur de l'UE [21]. Cela semble donc être une opportunité de se reconstruire de manière à devenir durable. Certains des plus grands défis auxquels le secteur doit faire face et résoudre afin d'adopter une approche circulaire sont la forte demande de matières premières, le coût du transport et l'empreinte écologique, car non seulement la plupart des produits doivent être transférés, mais aussi les matières premières, également un autre facteur important qui doit être pris en compte est la façon dont les vêtements sont souvent utilisés par les gens, suivant les modes à court terme, les vêtements sont utilisés pendant une brève période et sont jetés juste après, laissant derrière eux de vastes masses de déchets. Sur le total des fibres utilisées pour les vêtements, 87 % sont mis en décharge ou incinérés, ce qui représente une perte d'opportunité de plus de 100 milliards de dollars par an. Jusqu'à 73 % des matériaux entrant dans le système de vêtements sont perdus après l'utilisation finale du vêtement, 10 % sont perdus pendant la production du vêtement (par exemple, sous forme de chutes) et 2 % sont envoyés à la décharge ou à l'incinération à partir des vêtements qui sont produits, mais qui ne le font jamais. au marché. Une perte supplémentaire de 2 % se produit lors de la collecte et du tri des vêtements jetés [22].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

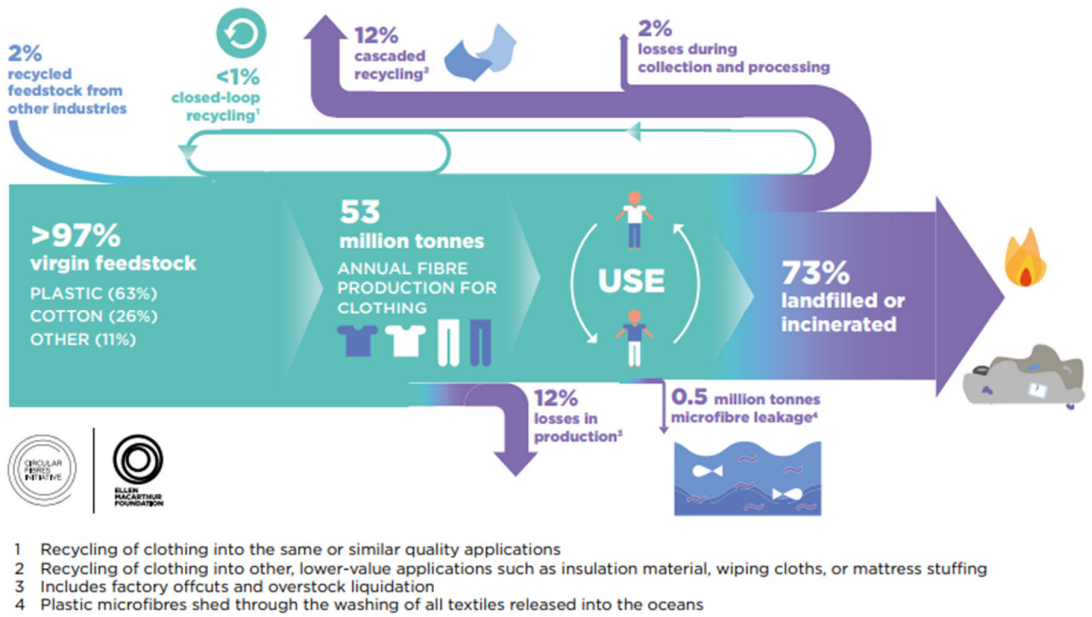


Figure 7. Flux mondiaux de matières pour l'habillement 2015 [[25]]

Les mêmes principes qui ont été discutés dans le chapitre précédent (Concevoir des produits durables) devraient également être appliqués au secteur textile pour mener le secteur textile vers une voie durable. Les mesures proposées comprennent :

1. Développer des mesures d'éco-conception pour les produits textiles afin de s'assurer qu'ils sont adaptés à la circularité, en garantissant l'absorption de matières premières secondaires, en éliminant les produits chimiques dangereux et en incitant les entreprises et les consommateurs à choisir des textiles durables et à avoir un accès facile à la réutilisation et services de réparation.

2. Une attention particulière sera également accordée à l'environnement réglementaire des textiles durables et circulaires dans l'UE. La Commission encouragera les modèles de produit en tant que service qui confèrent la propriété du produit et une responsabilité accrue aux producteurs, aux matériaux circulaires et aux processus de production, et mettra l'accent sur l'augmentation de la transparence grâce à la coopération internationale.

3. Un autre objectif impératif est la collecte des déchets textiles. L'UE fournira des orientations aux États membres pour obtenir les meilleurs résultats possibles. Les États membres doivent se conformer à ces guides d'ici 2025.

4. Il est également important de minimiser les transports. Ceci peut être réalisé en utilisant autant que possible des matériaux locaux.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

5. Utilisation de services de technologie numérique tels que les passeports numériques pour fournir aux clients toutes les informations importantes sur les produits et sur la manière de les recycler

Références

[1] United Nations, "Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns", un.org, [Online]. Disponible sur : https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/ [Consulté : Septembre 05, 2021]

[2] Netflix. Sir David Attenborough presents: Breaking boundaries: the science of our planet. Doc Preview

[3] Netflix. Sir David Attenborough presents: Breaking boundaries: the science of our planet. Doc Preview

[4] National Ocean and Atmospheric Administration, US Department of Commerce. (2021 February 26th). "How does sea ice affect global climate". Oceanservice.noaa.gov. [Online]. Disponible sur : https://oceanservice.noaa.gov/facts/sea-ice-climate.html [Consulté : Septembre 05, 2021]

[5] United Nations. "What is the United Nations Framework Convention on Climate Change?". Unfccc.int. [Online]. Disponible sur : https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change [Consulté : Septembre 05, 2021]

[6] Wikipedia. "Kyoto Protocol". En.wikipedia.org. [Online]. Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol [Consulté : Septembre 05, 2021]

[7] R. Lindsey and L. Dahlman (2021 March 15th). "Climate Change: Global Temperature". Climate.gov. [Online]. Disponible sur : https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature [Consulté : Septembre 05, 2021]

[8] Wikipedia. "The Paris Agreement" en.wikipedia.org. [Online]. Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Paris_Agreement [Consulté : Septembre. 05, 2021]

[9] United Nations. "The Paris Agreement". Unfccc.int. Disponible sur : https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement [Consulté : Septembre 05, 2021]

[10] European Commission, "Committing to climate-neutrality by 2050: Commission proposes European Climate Law and consults on the European Climate Pact" [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_335 [Consulté : Septembre 05, 2021]

[11] European Commission. "*2050 long-term strategy*". ec.europa.eu. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en [Consulté : Septembre 05, 2021]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[12] European Commission. “Committing to climate-neutrality by 2050: Commission proposes European Climate Law and consults on the European Climate Pact”. ec.europa.eu. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_335 [Consulté : Septembre 05, 2021, 2021]

[13] Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe, European Union 2020, p. 6

[14] European Commission. “Committing to climate-neutrality by 2050: Commission proposes European Climate Law and consults on the European Climate Pact”. ec.europa.eu. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_335 [Consulté : Septembre 05, 2021]

[15] Goodnet. (2018 April 15th). “5 Companies That Embrace the Concept of a Circular Economy”, Goodnet.org. [Online]. Disponible sur : https://www.goodnet.org/articles/5-companies-that-embrace-concept-circular-economy [Consulté : Septembre 05, 2021]

[16] Circular. (2019 August 23rd). “Tesco working with suppliers to remove hard-to-recycle materials”, circularonline.co.uk. Disponible sur : https://www.circularonline.co.uk/news/tesco-working-with-suppliers-to-remove-hard-to-recycle-materials/ [Consulté : Septembre 05, 2021]

[17]India CSR. (2020 August 11th). “Anand Mahindra among 14 Global CEOs endorsing Economic Roadmap for Sustainable Recovery from COVID Crisis”, indiacsr.in. [Online]. Disponible sur : https://indiacsr.in/anand-mahindra-among-14-global-ceos-endorsing-economic-roadmap-for-sustainable-recovery-from-covid-crisis/ [Consulté : Septembre 05, 2021]

[18]CNBC. (2021 March 2nd). “The business book that sparked this entrepreneur’s multibillion-dollar social impact start-up”. cnbc.com. [Online]. Disponible sur : https://www.cnbc.com/2021/03/02/eat-just-ceo-josh-tetricks-food-tech-start-up-was-inspired-by-a-book-.html [Consulté : Septembre 05, 2021]

[19] European Commission. Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. European Union 2020, p. 13. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/new_circular_economy_action_plan.pdf [Consulté : Septembre 05, 2021]

[20] Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe, European Union 2020, 13.

[21]A New Textiles Economy: redesigning fashions future, Ellen MacArthur Foundation, 2017, 36-37

[22]Nations, U., 2021. *United Nations | Peace, dignity and equality
on a healthy planet*. [Online] United Nations. Disponible sur : https://www.un.org/en/ [Consulté : Septembre 27, 2021]

[23] Article. *Kyoto Protocol*. Wikipedia. [Online] Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol [Consulté : Septembre. 27, 2021].

[24] Climate.gov. 2021. *NOAA Climate.gov | science & information for a climate-smart nation*. [Online] Disponible sur : https://www.climate.gov/ [Consulté : Septembre 27, 2021].

[25] Ellenmacarthurfoundation.org. 2021. *Let's build a circular economy*. [Online] Disponible sur : https://ellenmacarthurfoundation.org/ [Consulté : Septembre 27, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Quel est le seuil que le scientifique identifie comme le point clé où les émissions de gaz commencent à avoir un impact négatif et à déstabiliser le climat et l'humanité dépassé en 1988 ?
Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) 400 ppm
b) 350 ppm
c) 450 ppm

Question 2 : Le 12 décembre 2015, combien de parties ont ratifié l'Accord de Paris ?
Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) 196
b) 192
c) 144

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Unité 8 Tendances en matière d'éducation, de formation et de mise en réseau

Traduit par :

Jean-Francois Vermont (CEDECS-TCBL SAS) (8.1)

Wissem Cheikhrouhou, Mohamed Koubaa, Noura Rmili (CRNS) (8.2, 8.3, 8.4)

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Sommaire

Sommaire 485

Cours 8.1 Nouvelles technologies de formation et collaboration 489

1. Introduction 489

1.1. La cible de ce cours 489

1.2. Un peu d'histoire 489

1.3. Les familles de technologies utilisables pour la transmission de la connaissance 490

1.4. Les nouvelles technologies apportent la flexibilité requise pour s'adapter à des besoins divers et variés 491

1.4.1. Les types de savoir à transmettre aux acteurs du T&H sont très variés 491

1.4.2. Les métiers du T&H sont multiples et les formations et cursus pour y accéder sont spécifiques 491

Une liste établie par le projet PASSAGE en 2009 répertorie 114 métiers stratégiques 491

1.5. Le scenario d'usage utilisé pour sélectionner les technologies présentées 495

2. Technologies permettant à une institution d'enseignement supérieur de valoriser son centre d'innovation 495

2.1. Outils utilisables pour la gestion des inscriptions 495

2.2. Outils de présentation pour accueillir les visiteurs d'un centre 496

2.2.1. Haiku Deck – le plus pratique ? 496

2.2.2. CustomShow – le plus esthétique ? 497

2.2.3. SlideDog – le plus riche ? 497

2.2.4. Slides – simple et efficace ? 497

2.2.5. Slidebean – flexible et esthétique ? 497

2.2.6. Visme – complet et personnalisable ? 498

2.2.7. Google Slides – la simplicité à la Google ? 498

2.2.8. Prezi Business – une référence 498

2.3. Témoignage et Conseils pour réussir une présentation 499

2.3.1. Comment réussir sa présentation en public : 7 principes de base à respecter pour captiver votre audience du début à la fin 499

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Laissez votre ordinateur de côté pour commencer 500
Créez vos diaporamas pour votre public, et non pour vous-même 500
Laissez tomber les listes à puces 500
Privilégiez les éléments visuels 501
Préparez-vous… et répétez (mais pas trop) 501
Maintenez l'attention de votre audience 501
3. Technologies pour gérer des évènements hybrides 502
3.1. Les Master Class 502
3.2. Les webinaires 503
3.3. Les séminaires hybrides 503
3.4. Les cours en ligne 503
3.5. Les cours hybrides 504
Avantages de l'apprentissage hybride 504
Avantages pour les employés (et plus généralement les apprenants) 504
Avantages pour les instructeurs (et plus généralement les enseignants) 505
Apprentissage hybride vs apprentissage inversé 505
Exemple d'apprentissage inversé 506
Exemple d'apprentissage hybride 506
Modèles d'apprentissage hybride 506
La formation en présentiel 506
La formation en rotation 506
La formation dite « Laboratoire informatique » 506
La formation en ligne 506
3.6. Les bonnes pratiques en matière d'apprentissage hybride 507
4. Les MOOC 508
4.1. Conseils d'experts pour les enseignants et les formateurs 508
4.2. Du côté du formé, des règles sont à respecter pour suivre efficacement un MOOC 510
5. Pour aller plus loin… 512
5.1. Envisager d'offrir des formations tout au long de la vie 512

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

5.2. Accompagner et observer les initiatives de digitalisation de la formation des entreprises (exemple : les cas Danone Académie) 513
6. Conclusion 513
Les étapes à respecter 513
Les freins à la digitalisation 514
Références 515
Questions pour l'évaluation du cours 517
Cours 8.2 Responsabiliser les scientifiques - de la R&D à la pratique 518
1. Introduction : R&D au marché 518
1.1. Niveau de maturité technologique 518
1.2. Vallée de la Mort 520
2. Cadres d'innovation Lean 523
2.1. Manifeste Agile 524
2.2. Méthodologie de la Startup Lean 526
Références 528
Questions pour l'évaluation du cours 529
Cours 8.3 Le travail en équipe et l'apprentissage basé sur le jeu comme méthodes pédagogiques 530
1. Travail d'équipe 530
1.1. Introduction à la définition du travail en équipe 530
1.2. Travailler en équipe 531
1.3. Points clés pour constituer une équipe de travail efficace 532
2. Jeu et éducation 533
2.1. Quelques principes de jeu pour impliquer les étudiants 533
2.2. La différence entre la gamification (ludification) et l'apprentissage basé sur le jeu 534
2.3. La gamification dans l'apprentissage 534
2.4. Classification en gamification 535
3. Apprentissage basé sur le jeu comme approche pédagogique 536
3.1. Focus sur l'apprentissage par le jeu 536
3.2. Comment l'enseignement basé sur le jeu peut être intégré dans le contexte de l'éducation formelle 537

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références 539
Questions pour l'évaluation du cours 541
Cours 8.4 Commerce électronique 542
1. Introduction 542
2. Commerce électronique 101 543
2.1. Catégories de commerce électronique 544
3. Commerce électronique B2B 546
3.1. Avantages du commerce électronique interentreprises B2B 546
3.2. Modèles B2B d'e-commerce 546
4. E-commerce B2C 547
4.1. Les éléments de B2C 548
5. Les moteurs du commerce électronique 549
6. Évaluation du commerce électronique mesurée en termes de convivialité et d'accessibilité 550
7. Le commerce électronique : Leçons pour la crise du COVID-19 550
Références 552
Questions pour l'évaluation du cours 554

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 8.1 Nouvelles technologies de formation et collaboration

Jean-Francois VERMONT
CEDECS-TCBL SAS

1. Introduction

1.1. La cible de ce cours

La cible de ce support de formation est composée des professeurs formant les étudiants et professionnels devant visiter, visitant ou ayant visité les centres d'innovation textile montés par les universités et Instituts tunisiens spécialisés dans le textile qui participent au projet Wintex

Le projet WINTEX présente l'opportunité de moderniser les contenus et formats de transmission de la connaissance de la population cible en s'appuyant sur les nouvelles technologies de la communication et de l'information (NTIC).

Le présent support présente un panorama des technologies intégrables dans cette activité par des institutions d'enseignement supérieur innovantes qui voudront s'adresser de manière flexible à une cible non seulement composée d'étudiants inscrits dans un cursus et devant obtenir un diplôme mais aussi d'une population diversifiée, aux attentes multiples, d'âges différents et qui vient dans ce type de centre pour prélever des connaissances et savoirs principalement dans un objectif de développement professionnel et de business.

1.2. Un peu d'histoire

Les nouvelles technologies impactant la formation et la transmission des savoirs ont commencé à se diffuser dès la fin des années 1970 avec

- L'éclosion de la micro-informatique aux USA, du développement d'Arpanet, précurseur d'Internet
- Le développement de la télématique en Europe
- L'accroissement de la puissance des réseaux télécom avec la numérisation du transport de la voix, le développement de la fibre optique pour les transports longue distance, le développement des satellites télécom et le développement des technologies de compression de données

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les grandes étapes de cette éclosion peuvent se résumer ainsi :

- 1950-1960 : la télévision
- 1960-1970 : Education Assistée par l'Ordinateur (EAO)
- 1970-1980 : Jeux pédagogiques
- 1980-1990 : Tuteurs intelligents, hypertext
- 1990-2000 : Plateformes e-learning
- 2000-2010 : MOOCs
- 2010-2020 : Mobile learning, Gamification, Adaptive e-textbooks, Learning Analytics, VR, AR…

Depuis 2020, la crise du Covid-19 aidant se sont répandues à grande vitesse les technologies suivantes : Zoom, Big Data in Education, Open Microcredentials…

Ce résumé historique pose la question de la diffusion des technologies, de leur rythme d'adoption, de leur espérance d'adoption, de leur efficacité quand on réalise que certaines nouvelles technologies sont abandonnées ou retombent après un engouement pour finir par se stabiliser.

La courbe de battage médiatique de Gartner propose une visualisation périodique de ce qui est "tendance » dans le e-Learning et utilise pour cela la théorie des Cycles du battage médiatique. Cette théorie énonce que les innovations apparaissent avec peu de reconnaissance à leur début et deviennent progressivement familières jusqu'à atteindre un niveau de « battage » maximum. Ce « battage » porte sur cinq dimensions : L'excitation de l'Innovation, les attentes démesurées, les désillusions, la renaissance « éclairée » et la focalisation sur la productivité.

En 2021, dans le bouillonnement créatif continu du complexe entrepreneurial et technologique qui a commencé dans la Silicon vallée aux Etats Unis et s'est propagé dans le monde des économies développées, une variété de services numériques a vu le jour et est mobilisable aujourd'hui par les acteurs de la transmission de la connaissance dans le domaine du textile et de la mode.

1.3. Les familles de technologies utilisables pour la transmission de la connaissance

Les premières familles technologiques auxquelles on pense spontanément sont :

- Les outils d'aide à la présentation
- Les Didacticiels
- Les MOOC
- Les Webinaires

Au-delà de cette liste, il en existe bien d'autres, comme les groupements selon les fonctionnalités et l'usage

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

1.4. Les nouvelles technologies apportent la flexibilité requise pour s'adapter à des besoins divers et variés

Face à l'immensité des possibles, il convient de déterminer les technologies cohérentes avec les situations de formation auxquelles vont être confrontées les acteurs HEI accueillant des adultes et des professionnels orientés textile, en valorisant si c'est possible les centres de démonstration Wintex. Dans l'éducation professionnelle, il faudra donc à la fois accueillir des demandes ou besoins de formation et en sens inverse enseigner des connaissances ignorées par l'apprenant et sur lesquels il lui est difficile de se positionner.

1.4.1. Les types de savoir à transmettre aux acteurs du T&H sont très variés

- apprendre un métier
- travailler en mode collaboratif
- travailler en mode partage
- travailler en mode auto discipliné
- gérer des relations de pair à pair
- gérer les relations clients fournisseurs dans les 2 sens
- développer ses compétences d'être (soft skills)
- naviguer dans un écosystème adapté
- maitriser des codes interculturels
- développer une culture du changement

1.4.2. Les métiers du T&H sont multiples et les formations et cursus pour y accéder sont spécifiques

Une liste établie par le projet PASSAGE en 2009 répertorie 114 métiers stratégiques

Ces métiers ont été identifiés par des associations du secteur dans 4 pays européens (Bulgarie, France, Grèce, Italie, Roumanie), organisée selon une nomenclature en ligne avec celle du BIT (CITP-88) propose un descriptif pour chaque profil de métier appartenant à une catégorie d'emploi identifié dans cette nomenclature. Les descriptions proposées reposent sur de la documentation existante et validée provenant de la base de l'Observatoire des Métiers du FORTHAC (French Observatory of Jobs in Textile and Clothing), du répertoire ROME (ANPE) et de l'ONISEP.

Chaque fiche métier PASSAGE s'organise autour de rubriques, regroupées en trois volets

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU MÉTIER ET DE SON CONTEXTE (Définition générale : C'est l'intitulé, l'appellation objective de l'emploi de référence. - Contexte(s) professionnel(s) - Matériaux utilisés - Domaines d'application - Secteurs et domaines spécifiques : Définition du secteur ou domaine, Type

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

de domaine ou secteur - Tendances générales d'évolution du métier : Tendances, Stratégies dominantes face aux tendances, Impact sur le métier

EXIGENCES DU MÉTIER ET SOURCES D'INFORMATION SUR LE MÉTIER (Compétences techniques de base : C'est une combinaison de savoirs et de savoir-faire mobilisés en situation de travail et nécessaires à la réalisation des activités. - Connaissances associées - Capacités requises - Expérience, Formation initiale et professionnelle conduisant au métier, Documentation complémentaire : Démographie/statistiques - Matériel pédagogique disponible – Bibliographie – Autres - Sources utilisées : le Répertoire Officiel des Métiers et des Emplois (fichier ROME) du pôle emploi, les fiches métiers du FORTHAC et les fiches de l'ONISEP…)

ACTIVITÉS - SAVOIR-FAIRE - ÉVALUATION STRATÉGIQUE DU MÉTIER (Activités types : ce que fait concrètement son titulaire - Technologies utilisées - Savoir-faire stratégiques utilisés techniques, cognitifs et relationnels - Activités pour lesquelles il existe un savoir-faire documenté : Activité, Technologie utilisée, Savoir-faire capturé - Contribution à la compétitivité : Facteur de compétitivité concerné, stratégie concernée, importance de la contribution à cette stratégie - Risque de perte : Type de risque , niveau de risque.

Exemples de métiers documentés par PASSAGE

- Dirigeant de PME / pmi des matériaux souples
- Chef de produits habillement
- Chef de produits textile
- Directeur de collection
- Directeur de production habillement
- Responsable de boutique
- Responsable de production habillement
- Responsable de production textile
- Responsable qualité (textile/habillement)
- Responsable méthodes-ordonnancement-planification
- Responsable méthodes industrielles et environnement
- Merchandiser habillement
- Charge(e) d'études marketing habillement
- Styliste
- Styliste industriel
- Styliste habillement
- Technicien des industries des materiaux souples
- Responsable bureau d'etudes
- Agent d'encadrement de maintenance
- Technicien de la vente a distance

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Acheteur industriel
- Acheteur dans les industries des matériaux souples
- Acheteur(se) textile
- Acheteur(se) habillement
- Préparateur(trice) de commandes
- Modéliste -toiliste
- Modéliste habillement
- Toiliste
- Concepteur - créateur textile
- Designer textile
- Responsable approvisionnements produits textiles
- Agent des méthodes habillement
- Agent des méthodes textile
- Vendeur vendeuse (articles de luxe)
- Vendeur vendeuse marque
- Vendeur(se) boutique
- Mécanicien - régleur de machines de confection
- Trieur-classeur des industries de matériaux souples
- Visiteur-contrôleur des industries des matériaux souples
- Contrôleurs produits
- Responsable d'atelier de production habillement
- Responsable d'atelier de production textile
- Responsable de ligne textile
- Teinturier-coloriste/teinturière-coloriste des industries des matériaux souples
- Coloriste textile
- Préparateur/préparatrice de produits pour teinture, apprêts et impression
- Tailleur
- Patronnier(e)-gradeurs(e) (industries des matériaux souples)
- Patronnier(e)
- Patronnier(ere) - gradueur(se) habillement
- Couturière
- Préparateur de finition de produits des industries des matériaux souples
- Operateur process automatise sur machines de filature
- Conducteur de machines de filature
- Conducteur (trice) de machines de filature textile
- Conducteur de machines de non-tissés
- Conducteur de machines de tissage
- Conducteur de machines de tricotage

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Conducteur de machines de broderie
- Conducteur de machines de dentelle
- Opérateur/opératrice d'assemblage-montage des industries de l'habillement et autres fabrications a base d'étoffes
- Couturier(ere) industriel(le) habillement
- Conducteur de machines d'ennoblissement
- Agent de traitement des textiles
- Conducteur/conductrice de machines d'ennoblissement textile
- Operateur/opératrice d'entretien des articles textile
- Operateur d'atelier de coupe des industries des matériaux souples
- Conducteur de machines de conditionnement textile
- Agent de finition habillement
- Operateur d'assemblage-montage des industries de l'habillement et autres fabrications a base d'étoffes

Autres répertoires de métiers : le guide « Les métiers de la mode »

Le site https://www.studyrama.com/formations/fiches-metiers/mode-textile/ édite le guide « Les métiers de la mode » (Guide offrant un panorama complet des métiers de la mode), chaque profession inventoriée se voit précisée les formations et les diplômes pour y accéder. Enrichi de nombreux conseils et témoignages de professionnels, ce guide fournit tous les éléments pour choisir en toute connaissance sa voie professionnelle et s'orienter dans cette voie passionnante et exigeante. Les métiers documentés sont les suivants.

Table 1. Métiers documentés le guide « Les métiers de la mode »

Fabrication	Vente	Promotion
Brodeuse	Acheteur dans la mode	Attaché de presse
Costumier	Directeur de boutique	Journaliste de mode
Contrôleur qualité	Chef de produit	Influenceur
Coupeur	Directeur commercial	Mannequin
Couturière	Visuel merchandiseur	Photographe de mode
Dentellière	Vendeur en prêt-à-porter	
Modéliste	Métiers de la vente	
patronnier gradeur	Métiers de la vente	
Piqueur	Métiers de la communication	
Plisseur		
Retoucheur		

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Et il faut prendre en considération que les parcours professionnels ne sont plus linéaires, que les professionnels empruntent des passerelles ou se reconvertissent...

1.5. Le scenario d'usage utilisé pour sélectionner les technologies présentées

Aussi, en matière de technologies « formatives », le présent document va traiter le cas d'une institution d'enseignement supérieur qui :

- Dispose d'un centre d'innovation textile WINTEX,
- A la possibilité de définir l'intervention de formation de son choix,
- Dispose d'un effectif de professeurs titulaires, vacataires, professionnel élargi, ouvert au changement et ayant une facilité naturelle à faire appel aux nouvelles technologies de l'information et de la formation, et
- Délivre des formations diplômantes régulés par l'Etat et des formations non régulées.

Cette hypothèse nous permettra de passer en revue l'applicabilité des NTICF (Nouvelles Technologies de l'information et de la Communication pour Formation) aux différents besoins d'information et de transmission de connaissance de ces centres d'innovation.

2. Technologies permettant à une institution d'enseignement supérieur de valoriser son centre d'innovation

2.1. Outils utilisables pour la gestion des inscriptions

La cible de ce support de formation est composée des professeurs formant les étudiants et professionnels devant visiter, visitant ou ayant visité le centre d'innovation textile montés par les universités et Instituts spécialisés textiles tunisiens participant au projet Wintex

L'outil premier à mettre en place est un outil de gestion des inscriptions avec formulaire éventuel d'enrôlement.

Exemple d'une solution : Weezevent, une solution d'inscription en ligne conçue pour répondre à tous les besoins de votre événement, activité ou service, en 6 étapes :

- Publiez en quelques clics un mini-site d'inscription en ligne
- Intégrez un module d'inscription sur votre site web
- Personnalisez vos formulaires d'inscription : informations obligatoires, ajout de pièces jointes…
- Configurez des tarifs et des quotas d'inscription par catégories d'inscrits

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Affichez vos événements récurrents sous forme de liste ou calendrier
- Ajoutez un module d'inscription sur vos réseaux sociaux
- Suivez les inscriptions en temps réel et gérez vos inscrits

Vos données n'appartiennent qu'à vous. Weezevent n'a pas accès et ne les exploite pas. Des tableaux de bord intuitifs et simples d'utilisation sont accessibles aisément:

- Suivez les inscriptions en temps réel pour mieux piloter votre événement ou activité
- Analysez les données des formulaires complétés par vos inscrits
- Envoyez des emails personnalisés et ciblés depuis notre CRM événementiel

Un travail préliminaire est à faire pour que le logiciel d'inscription puisse aider à qualifier les inscrits. Il est ainsi possible de collecter des informations sur le niveau académique de l'inscrit, ses centres d'intérêt, les questions pratiques qu'il se pose pour venir, payer ou préparer son paiement si l'événement est payant, comment il a eu connaissance des possibilités de visiter le centre.

Auparavant l'HEI et le centre (si sa gestion est indépendante) auront défini le « package » visite et son contenu avec plusieurs contenus de visite possible (étudiants, stagiaires, responsables opérationnels de l'industrie textile, …).

2.2. Outils de présentation pour accueillir les visiteurs d'un centre

Pendant la visite, le centre aura peut-être préparé une présentation du centre et du contenu de la visite. En fonction du rendu souhaité, le centre pourra choisir plusieurs outils d'aide à la présentation

Powerpoint est l'un des plus connus, mais il en existe d'autres qui se distinguent par l'appel à des ressources visuelles et graphiques à fort impact.

Ci-après quelques exemples tels que décrit par le site codeur.com (https://www.codeur.com/blog/logiciel-de-presentation/)

2.2.1. Haiku Deck – le plus pratique ?

Haiku Deck met l'accent sur la simplicité et la clarté pour vous permettre de créer des présentations de qualité professionnelle sans être un expert du design.

Faites votre choix parmi des milliers de modèles taillés pour tous les usages : rapport social media, communiqué de presse, présentation d'une startup…

Le logiciel dispose aussi d'un grand catalogue d'images libres de droits à utiliser comme bon vous semble, ainsi que de nombreux filtres et polices d'écritures.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Tous ces éléments personnalisables sont répartis en secteurs d'activité afin de créer LA présentation qui vous convient le mieux.

2.2.2. CustomShow – le plus esthétique ?

« Avoir de l'impact. Obtenir des résultats. » Telle est la devise de CustomShow, un logiciel de présentation qui met en avant votre Institution, votre marque (logo, charte graphique…), donnant une vraie personnalité à votre diaporama et exprimant les valeurs de votre entreprise.

Son éditeur puissant permet de créer des présentations esthétiques et marquantes, visibles depuis n'importe quel support et facilement partageables. CustomShow dispose aussi d'une bibliothèque de templates assez fournie et d'un outil d'analyse très utile pour mesurer les performances de vos slideshows en ligne. Et si vous êtes malgré tout plus à l'aise avec le logiciel de Microsoft, sachez que vous pouvez importer une présentation Powerpoint dans CustomShow pour la perfectionner.

2.2.3. SlideDog – le plus riche ?

SlideDog a un concept un peu différent, puisqu'il permet de combiner toutes sortes de médias et de contenus visuels pour en faire une présentation dynamique et captivante.

Regroupez des présentations Powerpoint ou Prezi, des documents PDF, des data visualisations et bien d'autres dans un seul et même diaporama.

Autres originalités : vous pouvez diffuser vos présentations en direct auprès de votre public et même les faire interagir à l'aide de sondages et d'un tchat.

Ce logiciel se distingue aussi par sa gratuité, bien qu'il existe une version payante plus complète.

2.2.4. Slides – simple et efficace ?

Comme son nom l'indique, Slides est un logiciel en ligne permettant de créer des slides élégantes et esthétiques à l'aide d'un éditeur moderne et riche en possibilités.

Conférence, réunion, vente en face à face… Toutes les situations sont bonnes pour utiliser Slides, d'autant plus qu'il est transportable partout et sur tous les supports.

Vos diaporamas peuvent aussi être intégrés sur votre site web pour convaincre vos visiteurs avec un contenu visuel et original.

2.2.5. Slidebean – flexible et esthétique ?

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Slidebean dispose d'une sélection de superbes templates vous permettant de transmettre vos idées et vos arguments de manière efficace et originale.

Présentations diverses, argumentaire de vente, rapports marketing : ce logiciel très flexible s'adapte à tous les besoins.

En termes de design, de nombreux styles et des combinaisons diverses sont disponibles pour les utilisateurs, qui sont d'ailleurs guidés par les conseils de Slidebean pour réussir leur présentation en public.

2.2.6. Visme – complet et personnalisable ?

Visme vous permet de raconter de véritables histoires visuelles, pour que même les informations les plus ennuyeuses deviennent intéressantes et compréhensibles.

Polices d'écriture, icônes et images par millions viendront agrémenter votre présentation pour la rendre mémorable et accessible depuis n'importe où, sur n'importe quel appareil.

2.2.7. Google Slides – la simplicité à la Google ?

Google Slides est l'alternative made in Google à Powerpoint.

Et le roi des moteurs de recherche, qui fait déjà de l'ombre à Microsoft avec Docs et Sheets, propose ici un outil très agréable et performant.

Équipé de nombreux thèmes et de typographies, mais aussi d'animations et de vidéos intégrées, Slides permet de créer des présentations efficaces avec la simplicité et la clarté chères à Google.

Qui plus est, il est totalement gratuit.

2.2.8. Prezi Business – une référence

Nous ne pouvions pas achever cette liste sans évoquer Prezi Business.

Certes, la réputation de Prezi n'est plus à faire et vous le connaissez sûrement déjà. Mais avez-vous entendu parler de sa version business ?

Dotée d'outils spécialement conçus pour les professionnels, cette mouture de Prezi ne se contente pas de la création de belles présentations interactives.

Le logiciel vous permet par exemple de créer un slideshow simultanément avec des collaborateurs aux quatre coins du globe : très utile pour les équipes dispersées.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Il dispose aussi de fonctionnalités analytics afin d'étudier les performances de vos présentations en ligne : temps passé par les spectateurs, interactions, etc.

Si le centre organise un événement hybride avec certains logiciels de présentation il pourra générer une présentation qui viendra se mettre à côté de l'image du conférencier qui fait la présentation

Nous rappelons que la technologie ne réussira pas à votre place la séquence présentation formation transfert de connaissance. Aussi en même temps que la question du choix de l'outils, il porte de se poser la question des « techniques » pour réussir ses présentations

2.3. Témoignage et Conseils pour réussir une présentation

Selon David Vellut, du Learning Lab de l'Université Catholique de Louvain, « Si vous êtes déjà passé sur les bancs de l'université, et même dans le cadre de formations professionnelles, vous vous êtes immanquablement retrouvé au moins une fois face à des présentations incompréhensibles. Ce genre de diaporamas complètement déprimant fait partie des phénomènes que l'on nomme Death By PowerPoint. Ce terme a été utilisé pour la première fois par Angela Garber pour titrer son article paru sur le site web Small Business Computing. Le terme Death By PowerPoint fait référence à une mauvaise utilisation de logiciels de présentations (le plus connu étant PowerPoint de Microsoft) et la conception de diaporamas peu efficaces.

En ce qui me concerne, je garde de terribles souvenirs de l'université et de la grande majorité des profs de psycho : des tonnes et des tonnes de diapos, bourrées de textes – parfois illisibles – et contenant peu de visuels facilitant l'assimilation des infos. Le plus paradoxal dans tout ça, c'est qu'en tant que chercheurs en psychologie, la majorité de ces profs ont forcément dû entendre parler des concepts de charge cognitive, de mémoire de travail, et d'attention !

Malheureusement, étant donné que la majorité des professionnels réalisent des diaporamas pas du tout attractifs – que ce soit à l'université ou dans votre entreprise – vous vous conditionnez, par mimétisme, à faire la même chose que cette majorité : parce que tous les autres le font, c'est qu'il s'agit sans doute de la bonne marche à suivre. Cela a sans doute d'abord été le cas pour vos travaux et présentations d'étudiants. Ensuite dans le cadre de vos réunions d'équipe. Et enfin, éventuellement lors de présentations dans des séminaires ou conférences. À tel point que c'est devenu pour vous un automatisme. Et que de toute façon, puisque tout le monde le fait, c'est très bien comme ça… »

2.3.1. Comment réussir sa présentation en public : 7 principes de base à respecter pour captiver votre audience du début à la fin

Nous proposons de reprendre ici 7 principes de base, que David Vellut propose d'appliquer, afin de concevoir des présentations plus efficaces, de meilleure qualité, pour mieux captiver un public.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Laissez votre ordinateur de côté pour commencer

« Nous ne savons pas d'où proviennent nos idées. En revanche, nous savons que nous ne les tirons pas de nos ordinateurs. » John Cleese

La conception de présentations multimédia est avant tout un processus créatif. Et qui dit créativité dit ouverture d'esprit. La plupart du temps, au moment de concevoir leurs diaporamas, les personnes se réfugient sur leur logiciel de création de présentations (PowerPoint, Keynote…). Le problème, c'est que les modèles fournis par ces logiciels sont très souvent mal conçus et réducteurs.

Conseil : allez faire une ballade en forêt ou à la mer – en espérant que la météo soit en votre faveur – et prenez avec vous un cahier de notes et un stylo. Laissez venir les idées dans le désordre (histoires, type d'images et illustrations, phrases et mots-clés…). Si vous êtes familier avec le concept, la technique du « mind-mapping » pourra aussi vous être d'une aide précieuse.

Créez vos diaporamas pour votre public, et non pour vous-même

Il s'agit ici de réfléchir en parallèle au fond et à la forme de votre présentation. Par le fond, j'entends : éviter d'utiliser de manière abusive votre jargon professionnel ou des mots trop compliqués. Par la forme, je pense notamment à la lisibilité des polices de caractère, leurs tailles, les contrastes avec l'arrière-plan…

Par exemple, si vous vous initiez à l'art de réaliser des présentations innovantes, mieux vaut commencer par utiliser des polices qui ont fait leurs preuves (Arial, Helvetica, Garamond, Futura…). Petit à petit, avec l'expérience et les retours, vous testerez des polices plus exotiques.

Niveau taille des caractères, privilégiez une taille de minimum 24. Et pour le contraste, veillez à utiliser un texte foncé sur un fonds clair (par ex. texte noir sur fonds blanc) ou un texte clair sur un fonds foncé (par ex. texte blanc sur fonds noir). Ce n'est pas plus compliqué que ça pour commencer.

Et si vous tenez absolument à être sûr que vos diapos soient lisibles pour votre audience, faites le test en live : jouez avec votre diaporama en mode présentation, reculez de 2-3 mètres derrière votre écran, et appréciez !

Laissez tomber les listes à puces

Ou en tout cas, utilisez-les uniquement lors de certaines occasions ponctuelles bien déterminées. Mais surtout, évitez de charger chaque diapo avec des séries interminables de listes à puce. Les listes à puces sont utiles pour décrire brièvement un processus ou certaines caractéristiques. Elles sont par contre à bannir pour décrire un objet, présenter un produit, raconter une histoire, faire passer une émotion.

Le problème, avec les listes, c'est qu'on finit rapidement par se retrouver avec des blocs de texte de 3 lignes (voire plus) complètement illisibles. Si vous devez utiliser des listes à puces, faites-le avec parcimonie et limiter chaque puce à une ligne, histoire d'aller à l'essentiel !

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Privilégiez les éléments visuels

Contrairement aux idées véhiculées par le mouvement Death By PowerPoint, les diaporamas ont toute leur place pour accompagner une présentation… pour autant qu'ils servent à quelque chose. Si vous utilisez vos diapos juste pour retaper le texte que vous allez présenter oralement, arrêtez tout de suite. Vous allez perdre votre temps et faire perdre le temps de votre audience !

Privilégiez au maximum des éléments visuels et graphiques : images, illustrations, photos, diagrammes, schémas, animations, vidéos… en vous assurant qu'elles aient du sens et soient en lien avec votre contenu. Adoptez la zen attitude, et évitez la surcharge

La philosophie de « Présentation Zen » adoptée par Garr Reynolds pour concevoir des présentations multimédia peut servir de référence. Elle s'inspire des arts zen et de certains éléments de la culture japonaise pour réaliser des diaporamas vraiment hors du commun, tant sur le fonds que sur la forme. Ce qui caractérise principalement ce concept, c'est le fait d'aller à l'essentiel : privilégier des mots-clés percutants, utiliser chaque diapo pour ne diffuser qu'une seule idée principale… ce qui permet d'éviter le phénomène de surcharge cognitive et favoriser l'assimilation digeste des infos par le public.

Préparez-vous… et répétez (mais pas trop)

Contrairement à certaines idées reçues, improviser risque de signifier votre arrêt de mort. À moins que vous n'ayez des années d'expérience et des talents d'orateur hors pair, abstenez-vous d'improviser. Vous éviterez ainsi de vous suicider en public !

Personne n'est capable d'improviser une intervention professionnelle de 15min devant 500 personnes, et ce 5 minutes seulement avant de monter sur scène. Donc, à moins que vous ne fassiez partie de ces privilégiés qui ont reçu le don d'orateur à la naissance, préparez vos interventions : préparez votre plan (éventuellement sous forme de mindmap) et passez- le en revue la veille et le jour J. Attention à ne pas non plus vous sur-préparer afin de rester naturel face à votre audience. Si possible, testez l'affichage de vos diapos directement sur place, pour être sûr de pouvoir faire de petites modifications de dernière minute, si nécessaire.

Maintenez l'attention de votre audience

Pour captiver votre audience et la garder focalisée comme un laser sur ce que vous racontez, vous aurez besoin de bien plus que de belles diapos et des talents d'orateur. Vous devrez créer de l'interactivité avec votre public. Si vous comptez que la plupart des personnes commencent naturellement à décrocher à partir de 10 minutes, cela signifie que vous devrez, idéalement, prévoir un changement de modalité toutes les 5 minutes. Histoire d'être sûr de maintenir leur concentration.

Par exemple : raconter une histoire, présenter une vidéo, effectuer un sondage express, poser des questions, demander au public de prendre des notes, clarifier un concept… autant de techniques à utiliser pour favoriser cette proximité et cette interactivité avec votre audience.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Des outils concrets existent pour vous aider à ce niveau. Je pense notamment aux systèmes de vote électronique (capables d'afficher des infos en live dans votre diaporama) et aux jeux-cadres de Thiagi, dont certains sont particulièrement adaptés pour des conférences et animations dans le cadre d'événements.

Réussir sa présentation est un art qui se construit avec le temps et l'expérience…

3. Technologies pour gérer des évènements hybrides

Le contexte pandémique est à prendre en compte. Nous avons assisté à une explosion des « tentatives » réussies et moins bien réussies de cours, formation à distance. Avec l'assouplissement des règles de limitation des rencontres physiques, s'est développée une approche de moments de formation. Une partie des apprenants est dans un ou des lieux donnés, une autre partie est à distance en utilisant une connexion individuelle. En cas d'événement hybride, un travail de régisseur vidéo est à mettre en place. En effet, les présents physiquement, pourront voir l'animateur, se déplacer, voir les démonstrations d'équipement et de logiciel, poser toute question en direct.

Les participants éloignés eux doivent être intégrés dans la construction de l'événement, sous peine de devenir spectateur passif de ce qui se passe au loin sans qu'il y ait prise en compte de leur présence.

Un retour vidéo doit être mis en place pour que les présents physiquement puissent voir les distants.

Une série d'animation doit être mis en place avec les distants pour recueillir leurs réactions et les réinjecter dans le déroulé de l'événement.

Plusieurs caméras sont à prévoir pour filmer les présents (assistance, intervenants, démonstrations, présentation). Si un des intervenants est à distance, les présents physiquement peuvent depuis leur smartphone lui poser des questions.

Après l'événement, le centre peut intéresser par une approche qualité, demander l'avis des participants, collecter les suggestions d'amélioration et les demandes d'approfondissement.

Auparavant il a présenté son offre de formations et peut aider à choisir les candidats à sélectionner différents formats. A l'intérieur de ces formats, les institutions d'enseignement supérieur pourront déployer différentes stratégies pédagogiques

3.1. Les Master Class

Le rôle du responsable de la formation change, il devient un « sourceur » d'intervenants légitime à être au centre d'une Masterclass.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La Masterclass est un événement de prestige, basé sur la notoriété d'un intervenant. Pour un établissement éducatif et ses usagers, c'est un gage de valorisation. Pour les participants, un temps de formation et d'échange privilégié. Ce cours, largement ouvert aux publics, est généralement dispensé à des étudiants sélectionnés par niveau. Une Masterclass se décide au minimum un an avant sa réalisation. Une organisation rigoureuse doit alors se mettre en place pour lui permettre de dégager tous ses potentiels.

Le support technique est les plateformes de visio conférence.

Dans le choix des nombreuses plateformes qui existent, s'il n'y a pas de gestionnaire d'évènement existant, alors il est intéressant de sélectionner une plateforme qui gère correctement les inscriptions.

Ensuite l'animateur choisira le format, les questions des participants pourront remonter par tchat ou par prise de parole sur l'outils

3.2. Les webinaires

A la différence d'une Masterclass, il est demandé un travail aux participants qui peuvent être organisés en sous groupe.

Des plateformes d'engagement présentent des activités interactives (nuage de noms, votes, quizz,…) et sont couplés à la plateforme de visio conférence. Comme exemple nous pouvons citer les plateformes Beekast et Wisembly. Celles-ci à la fin du webinaire donne les statistiques des activités, des taux de présence, ….

Un travail significatif est à faire au préalable pour imaginer les activités qui engageront les participants et concourront à l'objectif de formation.

Un équilibre est à construite entre la présentation des intervenants et les activités

3.3. Les séminaires hybrides

Les séminaires hybrides sont plus exigeants que les webinaires en terme de préparation car il faut combiner activités en présentiel, activités à distance, intervenants présents et à distance, et il y a plus de moyens techniques à mobiliser (régie video, plateau de tournage,…)

3.4. Les cours en ligne

Le professeur est réintroduit dans cet approche en tant qu'auteur et non pas interprète de son cours.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L’auteur du cours, formalise son approche pédagogique, valorise les outils trouvés sur la plateforme LMS (Learning Management System), construit des modules et des séquences alternant présentations et exercices et publie l’ensemble.

Un module administrateur permet d’inscrire les participants, les évaluer, interagir avec eux.

Certaines plateformes sont orientés collaboration avec les parties prenantes pour fabriquer le cours avec les notions de co-auteur (comme la plateforme 360 learning), certains sont très axés sur des épreuves, examens, suivi des note (comme la plateforme Moodle), certains sont axés vidéo (le contenu est sous forme vidéo, (plateforme Udemy), certains sont axés sur la vente de formation en ligne et offre un workflow qui va des objectifs commerciaux, jusqu’à la mise en ligne et l’achat en passant par la fabrication du cours (plateforme Kajabi)

3.5. Les cours hybrides

La société Easy-LMS dans sa page internet https://www.easy-lms.com/fr/base-connaissances/base-de-connaissances-lms/apprentissage-hybride-c-est-quoi/item10385 répond aux questions que l’on peut se poser sur l’hybridation des formations en prenant les exemples des formations des employés

Qu'est-ce que l'apprentissage hybride ?

L'apprentissage hybride est un type de formation dans lequel les employés apprennent par le biais de médias numériques en ligne, en plus de la formation traditionnelle en présentiel [1].

Pour faire simple, il combine le meilleur des deux environnements de formation et permet d'avoir à la fois des activités synchrones et asynchrones.

Pendant la formation en présentiel, le formateur soutient l'employé en lui fournissant un contexte et des explications, et facilite la discussion entre les participants. La partie en ligne de la méthode d'apprentissage hybride permet aux participants de faire des exercices à leur propre rythme, pendant leur temps libre. Cela favorise la prise d'informations et aide les participants à se préparer ou à assimiler la formation en présentiel.

L'apprentissage hybride est également connu sous le nom d'apprentissage mixte ou « blended learning» en anglais. Il peut se dérouler dans des salles de classe et dans des environnements professionnels.

Avantages de l'apprentissage hybride

De multiples études ont montré que l'apprentissage hybride peut être une méthode de formation efficace pour les employés. En outre, il présente également des avantages pour l'instructeur :

Avantages pour les employés (et plus généralement les apprenants)

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Une meilleure préparation et un meilleur retour d'information. Comme les employés effectuent les tâches de manière indépendante, ils commencent leurs leçons mutuelles avec le même niveau de connaissances. Cela favorise les discussions fructueuses et les retours pratiques.

Plus de flexibilité. Chaque employé a son propre style d'apprentissage. La possibilité de définir son propre rythme facilite l'assimilation des informations. Les employés ont plus de temps pour appréhender les sujets difficiles, par exemple.

C'est plus sympa. La variété permet de motiver [2] !

Avantages pour les instructeurs (et plus généralement les enseignants)

Bien adapté aux grands groupes. Vous pouvez toucher un large public en peu de temps.

Une meilleure vue d'ensemble. Vous verrez les employés qui ont des difficultés avec le matériel de cours. Vous pouvez les aider en leur donnant des explications ou des devoirs supplémentaires.

Les deux types d'apprenants sont satisfaits. Les fans de technologie, et les autres.

Cela réduit les coûts comme les frais de déplacement, la location de locaux, etc.

Bien entendu, il existe des cas de « rendement » faible de cette approche, quand la partie asynchrone n'a pas été conçue avec des logiques de soutien et stimulation. Une proportion variable de participants peut décrocher de cette phase, ne pas s'investir suffisamment ce qui fait perdre le bénéfice de l'approche par deux effets

- une partie des apprenants n'a pas acquis les pré requis et n'atteindront pas le niveau de résultat visé
- l'animateur devra gérer en présentiel la population qui a augmenté son niveau et celle qui a stagné.

Apprentissage hybride vs apprentissage inversé

Les termes « apprentissage hybride » et « apprentissage inversé » sont souvent utilisés de manière interchangeable. Mais ce ne sont pas les mêmes. L'apprentissage hybride est le terme général pour toutes les méthodes de formation qui combinent des activités de formation en ligne et hors ligne. L'apprentissage inversé est une forme spécifique d'apprentissage hybride. L'instructeur demande aux apprenants de visionner de courts modules d'apprentissage en ligne à la maison ou pendant leur temps libre afin de les préparer à leur formation en classe. Cela permet aux apprenants d'utiliser des modules en ligne pour apprendre les concepts fondamentaux et les leçons, afin de pouvoir assister à des sessions en personne pour répondre à des questions spécifiques. Pour l'apprentissage hybride en général, les modules e-learning peuvent être utilisés pour se préparer ou pour assimiler la formation. Ces exemples vous permettront d'y voir plus clair :

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Exemple d'apprentissage inversé

Un conseiller commercial apprend l'anglais comme deuxième langue afin que l'entreprise puisse développer ses activités de vente dans le monde entier. Il reçoit un cours en ligne qu'il doit suivre avant de participer à sa première journée de formation en présentiel.

Exemple d'apprentissage hybride

Un conseiller commercial apprend l'anglais comme deuxième langue, afin que l'entreprise puisse développer ses activités de vente dans le monde entier. Au cours de la formation en présentiel, il reçoit des explications sur des règles de grammaire spécifiques. Ensuite, il doit effectuer des travaux en ligne pour revoir les concepts qui viennent d'être enseignés lors de la formation.

Modèles d'apprentissage hybride

De multiples modèles d'apprentissage hybride ont été développés pour offrir aux organisations différentes possibilités [3]. En voici quelques exemples :

La formation en présentiel

Dans ce modèle, les apprenants doivent préparer des activités par eux-mêmes pour se préparer à la formation en présentiel. Il s'agit par exemple de cours en ligne et de devoirs que les apprenants doivent effectuer avant ou après la formation en présentiel. L'apprentissage inversé est lié à ce modèle d'apprentissage hybride.

La formation en rotation

Dans ce modèle, les apprenants passent par différentes activités d'apprentissage. Ils peuvent soit assister à des conférences avec un instructeur, soit travailler en groupe, soit travailler sur leur ordinateur. Ils alternent ces stations de travail tout au long de la journée. La rotation des activités rend l'apprentissage plus amusant et engageant pour les personnes concernées. Mais cela exige aussi qu'elles participent au processus d'apprentissage en même temps.

La formation dite « Laboratoire informatique »

Dans cette méthode, les participants travaillent sur leur ordinateur pendant que le formateur supervise. Elle fonctionne bien lorsqu'il y a un laboratoire informatique au bureau. C'est également un bon choix si l'entreprise préfère garder un œil sur ses employés pendant la formation.

L'apprentissage hybride peut être une bonne solution pour les personnes qui sont déjà bien occupées.

La formation en ligne

Les gens répondent généralement qu'ils ont « pas mal de travail » lorsque vous leur demandez comment ils vont. L'apprentissage hybride peut être une bonne solution pour les personnes qui sont

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

déjà bien occupées. Elles peuvent en apprendre une partie pendant leur temps libre, et le reste pendant une formation en présentiel. Il est même possible de regarder un cours sur votre ordinateur pendant que vous dînez ! Ce n'est pas quelque chose qui peut se produire dans une salle de classe traditionnelle. La motivation peut être un problème dans ce scénario. Les apprenants peuvent se sentir plus motivés si l'apprentissage en ligne est combiné à des réunions en personne, avec d'autres participants ou avec l'instructeur.

3.6. Les bonnes pratiques en matière d'apprentissage hybride

La mise en place d'une stratégie d'apprentissage hybride est totalement différente de la conception d'une formation en présentiel ou d'un cours en ligne. Vous devrez avoir une approche globale pour vous assurer que tout s'intègre efficacement. Ces six meilleures pratiques vous donneront un coup de pouce [4 et 5] :

- Partez de zéro. N'essayez pas d'adapter un cours actuel à une approche d'apprentissage hybride. Redémarrez et commencez par les bases. Posez-vous des questions. Quel est votre objectif ? De quel matériel avez-vous besoin pour atteindre cet objectif ? Quels sont les sujets qui pourraient être abordés en ligne et ceux qui devraient faire l'objet d'une formation en présentiel ? De quelle technologie avez-vous besoin ?
- Tenez compte des préférences de vos employés. Organisez un sondage pour connaître leurs préférences. Dans ce sondage, vous pourriez étudier leurs besoins concernant les discussions en ligne par rapport aux discussions en présentiel, la durée idéale des instructions en ligne, la vidéo par rapport à l'audio. Les résultats vous aideront à définir les outils dont vous avez besoin.
- Faites-en une expérience mémorable. Examinez chaque élément de votre formation et voyez comment vous pouvez la rendre attrayante. Pouvez-vous personnaliser votre matériel ou lui donner une accroche émotionnelle ? Devriez-vous ajouter des vidéos à votre matériel de formation pour le rendre plus vivant ? De même, équilibrez les événements pédagogiques et les activités en ligne. Si vous les répartissez de manière réfléchie, cela contribuera à ancrer le contenu dans la mémoire à long terme.
- Concentrez-vous sur vos résultats, et non sur une technologie spécifique. La technologie doit soutenir vos objectifs et répondre aux résultats de l'apprentissage, et non l'inverse.
- Évaluez le programme à l'aide d'un projet pilote. C'est votre première fois ? Commencez par un petit groupe test et évaluez activement votre programme de formation. Par exemple, envoyez des questionnaires pour savoir ce qui freine vos employés. Ou suivez-les pour voir les obstacles dans la vie réelle.
- Préparez vos employés : une stratégie hybride sera quelque chose de nouveau pour de nombreux employés. Donnez-leur des instructions sur cette nouvelle approche. Cela peut se faire par le biais d'un e-mail, d'une réunion en personne ou d'un cours en ligne.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

4. Les MOOC

Ils sont le moyen pour une institution d'enseignement supérieur de partager gratuitement en direction du plus grand nombre une formation en mode Massive Open On-Line Courses.

Peut-être que dans le contexte de Wintex, l'IHEI pourra viser l'international et s'intéresser aux MOOC

Comme l'écrit sur son site la Revue l'Etudiant (https://www.letudiant.fr/educpros/actualite/10-points-clefs-pour-reussir-son-mooc.html), les MOOC fleurissent jour après jour depuis quelques mois, portés notamment par la plate-forme FUN (France université numérique). Les "massive open online courses", autrement dit, MOOC, ont mis un peu de temps à s'implanter en France, mais les initiatives réussies de certains établissements d'enseignement supérieur prouvent qu'il ne faut pas nécessairement s'appeler Harvard pour innover pédagogiquement. Néanmoins, si tout le monde désormais veut se targuer d'avoir son MOOC, nombreux sont encore ceux qui n'ont pas perçu tous les enjeux, pensant parfois à tort que ce nouveau mode d'enseignement n'est ni plus ni moins qu'un cours filmé bien élaboré.

4.1. Conseils d'experts pour les enseignants et les formateurs

1. Avoir un très bon cours de départ

Premier conseil, pouvant sembler évident, "il faut avant tout avoir un très bon cours comme point de départ", avance Rémi Bachelet, maître de conférence à Centrale Lille, créateur du MOOC "Gestion de projet".

2. Prendre en compte le facteur temps

"Il faut se rendre très disponible, beaucoup plus que ce qu'on peut imaginer au démarrage du projet", prévient Christine Vaufrey, consultante et co-créatrice de plusieurs MOOC, pour le compte notamment de Télécom Bretagne et Centrale Nantes. Même lorsqu'on a la chance de posséder un contenu qui semble 'prêt à l'emploi', l'ampleur de la tâche est considérable", insiste-t-elle.

"La quantité de travail est l'une des principales difficultés que j'ai pu rencontrer", confirme Rémi Bachelet.

3. Ne pas confondre cours filmé et Mooc

C'est la grosse erreur à ne pas commettre, s'accordent à dire nos trois experts. "Lorsque vous assistez à un cours filmé, vous êtes passif. Vous ne faites pas partie du cours. Cela peut être intéressant pour découvrir un nouveau sujet, mais on n'approfondit pas vraiment et bien sûr, on ne peut pas poser de

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

question", explique Philippe Silberzahn, professeur à l'EM Lyon et à l'origine d'un MOOC sur l'entrepreneuriat.

"Un cours filmé est une ressource alors qu'un MOOC est un parcours de formation, ajoute Christine Vaufrey. Or, qui dit parcours dit contenu bien sûr, mais aussi activités d'apprentissage et d'évaluation, interaction avec les autres apprenants et l'enseignant ou des tuteurs / facilitateurs".

Ce qui n'empêche pas d'utiliser des cours filmés comme ressources dans un MOOC. Cependant, souligne Christine Vaufrey, "je dirais qu'une fois les cours en boîte, il reste 75 % du travail de conception à faire". "Filmer un cours ne fait pas un MOOC", résume Rémi Bachelet : a minima, il faut y ajouter des cours particuliers sous forme de plusieurs séquences de 10 minutes".

Un cours filmé est une ressource alors qu'un MOOC est un parcours de formation (C. Vaufrey)

4. Ne pas avoir peur de s'exposer aux critiques

Attention, enseignants susceptibles ou réfractaires à la critique, passez votre chemin. "Vous vous retrouvez face à des milliers de personnes très exigeantes (même si elles ne paient pas). Il faut donc se faire à l'idée qu'elles auront des choses à reprocher à votre MOOC", prévient Philippe Silberzahn.

5. Bien s'équiper techniquement

"Il ne faut surtout pas sous-estimer la dimension technique, qui doit être fiable, et ne pas penser que ce sera simple et rapide", insiste Christine Vaufrey, soulignant qu'il faut aussi faire en sorte que les possibilités techniques de la plate-forme choisie coïncident avec les ambitions pédagogiques du créateur du MOOC, "et inversement" !

6. Interagir avec les participants

Raisonner en termes d'interactivité plus que de contenus : tel est l'un des secrets de la réussite d'un MOOC. "C'est à ce niveau que va se jouer la créativité, que va s'exprimer son talent de pédagogue", souligne Christine Vaufrey.

Cette interaction implique également qu'un soin particulier soit apporté à la forme et à la façon dont l'enseignant dispense son cours. Philippe Silberzahn recommande "de bien garder à l'esprit qu'on ne parle pas à une caméra comme à une classe. En particulier, celle-ci ne permet pas de savoir en temps réel si le message passe, contrairement à une classe que l'on peut 'sentir' en face-à-face", précise-t-il. D'où la nécessité de bien articuler et de ne pas surcharger le contenu du cours.

L'un des principaux enjeux du MOOC, ajoute Christine Vaufrey, est de parvenir à "engager les apprenants sur la durée. Il ne faut pas faire comme si c'était évident et tâcher de ne laisser personne en arrière". Avec un bénéfice côté enseignant : "la majeure partie de l'apprentissage et du plaisir de l'expérience vient de l'interaction sur les forums", relève Philippe Silberzahn.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

7. Ne pas hésiter à expérimenter

L'un des risques lorsque l'on se lance dans cette entreprise pharaonique qu'est la conception d'un MOOC est de se laisser submerger par des craintes non fondées. Philippe Silberzahn se souvient avoir redouté que la correction des copies par les pairs soit un échec : "c'était le début des MOOC, donc nous n'avions aucune idée de l'impact de beaucoup des choses que nous pensions faire. Or, en ce qui concerne la correction des copies, cela a très bien marché !". Mieux vaut donc ne pas avoir peur de prendre des risques : "c'est un domaine en émergence, les bonnes pratiques restent encore à établir", remarque l'enseignant.

C'est un domaine en émergence, les bonnes pratiques restent encore à établir (P. Silberzahn)

8. Ne pas y aller seul !

"Il faut se constituer une équipe !, martèle Christine Vaufrey. Non seulement pour se distribuer les tâches, mais aussi et surtout pour réfléchir ensemble, trouver de nouvelles astuces, se relayer aux postes clés, se soutenir mutuellement quand on a l'impression que ça patine". D'où les avantages mais aussi les contraintes du travail en équipe : "il faut être prêt à apprendre, à changer de posture, et donc à abandonner une partie de ses prérogatives", prévient-elle également.

Philippe Silberzahn souligne lui aussi l'importance du soutien "d'une bonne équipe pédagogique, animée d'une passion pour cette nouvelle forme d'enseignement".

9. Bénéficier d'une certaine autonomie

Pour Christine Vaufrey, il est indispensable d'obtenir de la part de la gouvernance de son établissement une liberté de manœuvre et de bienveillance, comme dans tout projet innovant. "Nous sommes dans un format de cours en ligne complètement évolutif et il faut s'emparer de cette dimension, en oubliant le cahier des charges rigide, la gestion de projet classique". Par conséquent, déclare-t-elle, "quand on conçoit et anime un MOOC, on a besoin d'un chef compréhensif qui nous accorde une large autonomie et nous fait confiance. Qui ne nous 'cassera' pas à la première difficulté".

10. S'imprégner de la culture MOOC avant de se lancer

Pour ne pas tomber dans le piège du cours magistral et bien animer sa communauté, Rémi Bachelet insiste sur l'intérêt de posséder une bonne culture Internet mais aussi de "suivre en amont un MOOC pour comprendre quel est cet objet pédagogique particulier". Car vous l'aurez compris, devenir un bon MOOCer ne s'improvise pas.

4.2. Du côté du formé, des règles sont à respecter pour suivre efficacement un MOOC

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Comme le dit l'ONISEP sur sa page https://www.onisep.fr/Choisir-mes-etudes/Suivre-un-Mooc-nos-conseils-pour-reussir, il y a certains aspects à prendre en compte avant de se lancer dans l'inscription à un MOOC.

Vous avez décidé de suivre un Mooc et celui-ci va débuter dans quelques jours ? Pour suivre au mieux et valider cette première expérience de cours en ligne, il va falloir vous fixer des objectifs précis en termes d'assiduité et de rythme de travail. Voici nos conseils pour tirer profit de cette formation 100% numérique.

PRISE EN MAIN DE LA PLATEFORME

Les Mooc se déroulent sur des plateformes spécifiques, les plus connues sont Coursera, Udacity et edX (utilisée notamment par France Université Numérique). Chacune propose son interface utilisateur et ses fonctionnalités (parfois denses). Le temps de prise en main peut être important. Celui-ci dépendra bien évidemment de vos compétences initiales à utiliser Internet. Mais même pour les plus avertis, un délai d'adaptation sera nécessaire la première semaine, le temps de prendre ses marques.

Conseil : une fois que vous vous êtes familiarisé à une plateforme (et si vous en êtes satisfait), essayez de rester sur celle-ci, vous gagnerez du temps pour votre prochain Mooc !

PLANIFIER SON TEMPS DE TRAVAIL

Un Mooc se déroule sur plusieurs semaines, parfois plus d'un mois. Vérifiez avant de vous lancer que cette période sera propice et calme dans votre vie étudiante ou dans votre vie professionnelle. Évaluez correctement votre temps disponible, la charge de travail demandée et bloquez dans votre agenda des plages horaires pour vous consacrer à votre Mooc chaque semaine. Les cours sont accessibles 24h sur 24 : c'est donc à vous de trouver et définir le rythme qui vous convient pour votre apprentissage. Mais comme pour un cours en présentiel, l'assiduité et l'implication sont indispensables !

Conseil : attention, la curiosité du début peut vite s'essouffler au fil des semaines : à vous de vous auto-discipliner et de ne pas perdre de vue vos objectifs.

LES ÉCHANGES AVEC SES PAIRS

Forums, fils de discussion, tchat, réseaux sociaux, hangout : les échanges avec ses pairs, c'est-à-dire entre personnes qui suivent le même Mooc, sont organisés et encouragés par les équipes pédagogiques. Ces lieux d'échanges vous permettent de poser des questions, d'échanger vos connaissances, de vous regrouper pour réaliser des travaux ou missions en groupe. Déterminez rapidement le lieu où vous allez contribuer : le risque majeur est de se noyer d'informations en lisant tous les posts, fils, tweets, souvent très nombreux. Enfin, repérez vite plusieurs pairs et entrez en contact avec eux pour les prochains travaux à réaliser en groupe.

Conseil : ne vous dispersez pas trop dans les échanges, vous gagnerez un temps précieux !

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

LES TRAVAUX À RENDRE

Chaque semaine, vous devrez répondre à des QCM, parfois rendre des travaux plus conséquents (étude de cas, missions). Attention, certains travaux sont obligatoires pour le résultat final, d'autres sont facultatifs. Si vous souhaitez obtenir la certification (et si le Mooc en propose une), il faut obtenir la moyenne. En revanche, si la certification ne vous intéresse pas et que vous êtes motivé seulement par quelques chapitres, inutile de vous obliger à faire le Mooc en entier. Personne ne viendra vous sanctionner.

Conseil : ne vous engagez pas dans des travaux de groupe si vous n'êtes pas réellement motivé ou disponible !

DÉCROCHAGE, RETARD, RATTRAPAGE

Si vous n'avez finalement pas assez de temps pour suivre correctement le Mooc, ou si les cours ne vous ne conviennent pas, vous avez toujours la possibilité de vous en désinscrire. Si vous prenez un Mooc qui a commencé depuis plusieurs semaines, sachez qu'il est très difficile de rattraper son retard. Les travaux à rendre peuvent être importants et les groupes de travail déjà constitués. Toutefois, beaucoup de Moocs proposent de nouvelles sessions : vous pourrez certainement le recommencer le semestre prochain ou l'année prochaine.

5. Pour aller plus loin…

5.1. Envisager d'offrir des formations tout au long de la vie

L'HEI peut avoir comme stratégie de valoriser sa base d'étudiants et être en capacité à lui offrir des services tout au long de leur vie professionnelle. Parmi les services, l'IHEI peut offrir

- le réseautage
  - personnel avec une animation des anciens élèves (alumni). Des plateformes de gestion d'anciens élèves existent pour supporter cette activité (AlumnForce, NetAnswer,….)
  - professionnel et institutionnel, en mettant en relation les anciens élèves avec des réseaux professionnels comme les Textile Lab.
- Les formations complémentaires sur site
  - L'HEI peut proposer des consultants et des coach adhoc à l'ancien étudiant dans le cadre de son activité professionnelle
- Des reformations
  - L'HEI peut proposer des reformations à mi-parcours de la vie professionnelle sur le format de Master Professionnel
- Franchiser son dispositif de formation

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- l'HEI peut formaliser l'ensemble de son dispositif complètement digitalisé et passer des accords de partenariats pour offrir ses services dans le monde entier

5.2. Accompagner et observer les initiatives de digitalisation de la formation des entreprises (exemple : les cas Danone Académie)

Danone est un leader mondial dans le secteur alimentaire avec plus de 105.000 employés répartis dans 55 pays. Pour permettre à leurs employés d'être plus compétents et efficaces dans leur travail, ils ont créé le programme « One Learning A Day », qui a multiplié les possibilités de formation pour chaque « Danoner ».

Ce programme comprend 4 volets :

- Apprentissage au travail : comprend les discussions avec les responsables d'équipe, le coaching, le mentorat et l'accès aux ressources pédagogiques numériques.
- Formation en présentiel : formation interne et externe, et ateliers.
- eLearning : cours en ligne, classes virtuelles et jeux sérieux sur Danone Campus 2.0, une plate-forme d'apprentissage interne.
- Réseautage : en face à face sur les marketplaces et les campus, et virtuellement au sein du réseau social, des communautés et de la plate-forme d'apprentissage de Danone.

Aujourd'hui, la plate-forme d'apprentissage en ligne compte 69.000 visiteurs uniques, et le temps moyen de formation par employé est de 27 heures par an.

6. Conclusion

La technologie apporte un océan de possibilités que les HEI doivent exploiter, mais la technologie reste stérile sans la formalisation d'une stratégie de formation.

A chaque fois qu'une HEI s'intéresse à une nouvelle technologie, elle doit regarder les cas d'échec et définir la bonne approche qui permettra

- De démultiplier la capacité de production des équipes de formateurs
- De toucher de nouveaux publics
- De baisser ses coûts de formation

Dans l'univers du textile, qui inclut des métiers très différents et des pratiques de formation très hétérogènes, il existe des critères de réussite et d'échecs

Les étapes à respecter

Selon Laura Benistant de la société Axes, 4 étapes sont à respecter

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

1. **Analyse des opportunités et des limites** : Avant la digitalisation de la formation, il est impératif d'analyser l'environnement de l'entreprise. L'objectif est d'identifier les opportunités que cette transformation va engendrer pour l'HEI mais aussi les limites à ne pas dépasser.

2. **Communication et échanges** : La deuxième étape concerne la communication qui est faite autour de cette digitalisation des formations. Il est primordial d'informer les collaborateurs le corps professoral et des intervenants des changements qui vont être opérés sur les méthodes de formations et sur l'avancement du projet.

3. **Des formateurs 2.0** : Il faut faire appel sur le premier projet à des formateurs qualifiés qui connaissent les nouveaux modes d'apprentissage. Il s'agit d'un facteur clé dans la réussite du projet de digitalisation des formations.

4. **Suivi du projet et conséquences** : La dernière et 4ème étape concerne le suivi du projet digital. Il convient d'assurer une analyse du projet une fois celui-ci mis en place afin de connaître son évolution et de l'ajuster si besoin. Il est également recommandé de mesurer les effets de cette digitalisation sur les compétences des formateurs mais également sur le côté financier pour l'HEI.

Les freins à la digitalisation

Rapellons que des organisations peuvent être réticentes du fait que la digitalisation peut « déshumaniser » les formations. Comme par exemple pour l'e-learning où l'apprenant se trouve seul face à un écran sans formateur à ses côtés ni autres apprenants avec qui partager ses expériences.

Une partie significative des enseignants peut souhaiter garder la méthode de formation classique et éprouvée.

Les périodes de crise sanitaire sont propices à une accélération du progrès technique et des changements d'habitude. Le développement des formations à distance est une ardente obligation pour assurer la permanence de l'activité de formation.

En complément, le point de vue de l'apprenant est à considérer. Les étudiants et jeunes professionnels d'aujourd'hui sont très connectés. Il importe de s'adapter à cette nouvelle typologie en lui offrant des parcours digitalisés attractifs.

Un point stratégique est de choisir l'intensité du support lié au parcours digital. Si l'apprenant ne dispose d'aucun support, tout reposera sur son auto motivation à apprendre et la qualité de son auto organisation.

Le support peut être assuré par l'équipe pédagogique dans un mode 1 à 1 ou 1 à plusieurs.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Si le support n'est pas synchrone (téléphone, visio), il peut être sous forme de questions réponses dans un blog ou un fil de discussion partagé avec l'ensemble des apprenants. Ces derniers voient instantanément si la question qu'ils se posent préoccupe un autre apprenant.

La réponse atteint plusieurs apprenants simultanément ce qui économise l'énergie de l'équipe support

Dans le cas précis des HEI partenaires du projet WINTEX, il sera stratégique d'intégrer le centre d'innovation comme un des points importants du parcours digital.

Enfin, l'innovation étant portée actuellement par les entreprises et les organismes de formation professionnelle, il conviendra pour les HEI textile de concevoir leur propre approche de la digitalisation de leur formation, sur un corpus somme toute très opérationnel, vaincre les résistances au changement et être aussi attractifs que les autres opérateurs de la formation dans le domaine textile.

La digitalisation de la formation textile est une réelle opportunité pour les HEI textiles d'accroitre sensiblement leur performance et leur légitimité à former des acteurs très diversifiés.

Références

[1] D.K. Schneider (2017), *Les technologies numériques dans l'éducation et la formatio*n, TECFA – FPSE - Université de Genève, [http://tecfa.unige.ch/] [Online]. Disponible sur : http://tecfa.unige.ch/tecfa/talks/schneide/CAS-elearning/cas-elearning-intro-technos-educatives-2017.pdf [Consulté : Juin 23, 2021].

[2] Unige (2018), *Liste des différentes technologies classées par catégorie* [Online]. Disponible sur : http://edutechwiki.unige.ch/en/Category:Educational_technologies [Consulté : Juin 23, 2021].

[3] Mode Textile (2020), *Les métiers de la mode*, [Online]. Disponible sur : https://www.studyrama.com/formations/specialites/mode-textile/les-metiers-de-la-mode-80140 [Consulté : Juin 23, 2021].

[4] Ispring (2020), *Blended learning*, [Online]. Disponible sur : https://www.ispring.fr/blog/blended-learning [Consulté : Juin 23, 2021].

[5] Isexl (2020), *Réussir une présentation orale,* [Online]. Disponible sur : https://www.isexl.com/comment-presentation-orale/ [Consulté : Juin 23, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[6] Isexl (2020), *Réussir un MOOC,* [Online]. Disponible sur : https://www.isexl.com/faire-mooc/[Consulté : Juin 23, 2021].

[7] Istf (2020), *Digitaliser une formation.* [Online]. Disponible sur : https://www.istf-formation.fr/blog/replay-webinar-digitalisation-des-formations-par-ou-commencer/ [Consulté : Juin 23, 2021].

[8] Visiplus (2018-12-24), *10 Commandements pour réussir sa formation en digital.* [Online]. Disponible sur : https://academy.visiplus.com/blog/formation-2/digital-learning-10-commandements-pour-reussir-sa-formation-2018-12-24 [Consulté : Juin 23, 2021].

[9] Skills4all (2018), *Réussir sa formation en digital learning*. [Online]. Disponible sur : https://www.skills4all.com/comment-reussir-sa-formation-en-digital-learning/ [Consulté : Juin 23, 2021].

[10] CEPITRA (2018). *Comment le CEPITRA, Centre de Formation Textile, a digitalisé sa formation*. [Online]. Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=RJKfTvW30g0 [Consulté : Juin 23, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Quelle est la différence entre un webinaire et un séminaire ?

Veuillez choisir les bonnes réponses parmi les trois choix ci-dessous.

a) Le webinaire est en ligne, le séminaire en présentiel

b) Le webinaire n'est pas organisé autour de groupe de travail, le séminaire si

c) Le séminaire est nécessairement en mode hybride

Question 2 : Que désigne le terme « formation hybride » ?

Veuillez choisir les bonnes réponses parmi les trois choix ci-dessous.

a) Une formation au cours de laquelle une partie des élèves est présent physiquement et une partie sont connectés à distance

b) Une formation dans laquelle les participants ont des parcours très variés

c) Une formation dont le contenu mélange des contenus très différents empruntés à plusieurs disciplines

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 8.2 Responsabiliser les scientifiques - de la R&D à la pratique

Josep Casamada
AEI Tèxtils

1. Introduction : R&D au marché

L'innovation est essentielle à la fois pour développer et maintenir la position concurrentielle d'un pays et pour relever les défis mondiaux.

La collaboration entre les petites et grandes entreprises et les universités contribue à la croissance régionale et à la création d'emplois. De nouvelles lois, institutions et initiatives sont nécessaires pour promouvoir l'innovation et la collaboration.

Les entreprises disposent de diverses pistes pour travailler l'innovation et la R&D afin d'accroître leur avantage concurrentiel et de conquérir de nouvelles parts de marché. Pour atteindre ces parts de marché et acquérir un avantage concurrentiel dans un climat commercial en constante évolution, les entreprises travaillent avec des stratégies de R&D et d'innovation.

Ce sujet peut être présenté avec deux concepts : le niveau de maturité technologique et la vallée de la mort.

TRL est une mesure de maturité technologique qui fonctionne sur une échelle de 1 à 9. Après TRL 6, des coûts importants sont associés à la maturation des capacités des produits et des systèmes. Ce coût et le risque sont la première partie de la vallée de la mort qui rend difficile la transition vers une nouvelle technologie ou l'approche de situations réelles. Même si le risque est faible qu'une invention fonctionne comme prévu, il existe toujours une énorme quantité de coûts et de risques avant une mise en œuvre réussie sur ou en tant que produit.

L'Internet des objets en est un bon exemple. - c'est tout dans nos vies utilisant des capteurs et de l'intelligence, se connectant à tout le reste et étant géré à l'aide d'analyses de données - est à nos portes depuis un certain temps.

1.1. Niveau de maturité technologique

La catégorisation des différentes phases de la recherche joue souvent un rôle important, par exemple, dans le processus de candidature et de sélection.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

En 1995, un livre blanc de la NASA a publié la définition d'un terme connu sous le nom de niveaux de maturité technologique (TRL). C'est un système de mesure utilisé pour déterminer les niveaux de maturité d'une technologie particulière. Chaque projet technologique est évalué à l'aide de paramètres pour chaque niveau technologique, puis se voit attribuer une note TRL en fonction de l'avancement du projet. Il existe neuf niveaux de maturité technologique. TRL 1 étant le plus bas et TRL 9 le plus élevé.

Table 2. Niveau de maturité technologique selon NASA et normes européennes

TRL #	Description du Niveau de maturité technologique (NASA)	Description du Niveau de maturité technologique (Normes européennes)
TRL 1	Principes de base observés et rapportés	Principes de base observés
TRL 2	Concept technologique et/ou application formulés	Concept technologique formulés
TRL 3	Fonction critique analytique et expérimentale et/ou preuve de concept caractéristique	Preuve de concept expérimentale
TRL 4	Validation de composants et/ou de maquettes en laboratoire	Technologie validée en laboratoire
TRL 5	Validation des composants et/ou de la maquette dans l'environnement pertinent	Technologie validée dans un environnement pertinent (environnement industriel pertinent dans le cas des technologies clés génériques)
TRL 6	Modèle système/sous-système de démonstration du prototype dans un environnement pertinent (sol ou spatial)	Technologie démontrée dans un environnement pertinent (environnement pertinent sur le plan industriel dans le cas des technologies clés génériques)
TRL 7	Démonstration d'un prototype de système dans un environnement spatial	Démonstration du prototype du système dans un environnement opérationnel
TRL 8	Système réel terminé et « qualifié pour le vol » grâce à des tests et à une démonstration (au sol ou dans l'espace)	Système terminé et qualifié
TRL 9	Système réel « éprouvé en vol » grâce à des opérations de mission réussies	Système réel éprouvé dans un environnement opérationnel (fabrication compétitive dans le cas de technologies génériques clés, ou dans l'espace)

L'échelle TRL est souvent utilisée comme outil de planification de l'innovation mais aussi comme outil de sélection des financements. Cet outil présente divers avantages ainsi que des limites. Son échelle de travail est également un outil de gestion de projet précieux qui aide les entreprises à suivre les étapes du projet tout en communiquant les progrès entre les parties prenantes internes et tierces. Le système TRL mesure la maturité d'une technologie, du niveau 1 (évaluation du concept) au concept 9 (déploiement réussi).

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Une technologie étant un TRL 1 indique que la recherche scientifique commence et que ces résultats sont traduits en recherche et développement futurs.

Le TRL 2 se produit une fois que les principes de base ont été étudiés et que des applications pratiques peuvent être appliquées à ces premiers résultats. La technologie TRL 2 est très spéculative, car il existe peu ou pas de preuve de concept expérimentale pour la technologie.

Lorsque la recherche et la conception actives commencent, une technologie est élevée au TRL 3. En général, des études analytiques et de laboratoire sont nécessaires à ce niveau pour déterminer si une technologie est viable et prête à aller plus loin dans le processus de développement. Souvent, au cours du TRL 3, un modèle de preuve de concept est construit.

Une fois que la technologie de preuve de concept est prête, la technologie passe au TRL 4, où plusieurs composants sont testés les uns avec les autres.

TRL 5 est une continuation d'un TRL 4. Cependant, une technologie qui est à 5 est identifiée comme une technologie de planche à pain et doit subir des tests plus rigoureux que la technologie qui n'est qu'à TRL 4. Les simulations doivent être exécutées dans des environnements aussi proches de réaliste que possible. Une fois les tests du TRL 5 terminés, une technologie peut passer au TRL 6.

Une technologie TRL 6 a un prototype entièrement fonctionnel ou un modèle de représentation. Cela représente une étape majeure dans la préparation démontrée d'une technologie.

La technologie TRL 7 exige que le modèle de travail ou le prototype soit affiché dans un environnement spatial.

La technologie TRL 8 a été testée et « qualifiée pour le vol » et elle est prête à être mise en œuvre dans une technologie ou un système technologique déjà existant.

Une fois qu'une technologie a été « éprouvée en vol » lors d'une mission réussie, elle peut être appelée TRL 9.

1.2. Vallée de la Mort

L'innovation technologique et la recherche ont toujours été et continuent d'être stimulées et financées par différents types d'organisations publiques. Ces technologies devraient par conséquent être déplacées par l'industrie vers les places de marché. Ce que nous voyons, c'est que la majorité de ces technologies ne font jamais le saut du secteur privé. Quelque part entre la recherche et le développement de nouveaux produits se trouve un phénomène d'écart où les projets rencontrent de gros problèmes liés à tout, depuis la finance, le juridique, la production et la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Cet écart est souvent appelé « la vallée de la mort ».

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

La nature intermédiaire ou « intermédiaire » de la Vallée de la Mort nécessite une réévaluation critique des investissements en R&D et de l'innovation en tant que processus en plusieurs étapes. Ce processus est défini comme la « séquence d'innovation ».

- Séquence d'innovation

Les idées sont les germes de l'innovation qui se manifeste sous forme de biens et de services et, à son tour, stimule la croissance économique et la compétitivité. Comprendre comment les progrès de la recherche fondamentale se traduisent efficacement en croissance économique, une séquence d'événements qui nécessite l'implication de plusieurs acteurs, des chercheurs aux investisseurs en passant par les clients, tous essentiels à la maximisation du potentiel de l'économie. Ainsi, le processus qui transforme les idées et les découvertes en production commerciale est la séquence d'innovation.

Penser en termes d'une séquence d'étapes est nécessaire lors de l'évaluation de la Vallée de la Mort. La vallée est censée se produire à des étapes intermédiaires du processus d'innovation, où il y a une "pénurie de sources de financement pour des projets technologiques qui ne comptent plus comme de la recherche fondamentale mais qui ne sont pas encore assez avancés pour constituer la base d'un plan d'affaires".

En 1966, l'économiste Robert Johnson affirmait que « l'innovation est une séquence temporelle se déroulant sur une longue période ». Il a divisé cette séquence d'innovation en quatre étapes :

1. L'idée originale ou la reconnaissance du besoin d'un produit ou d'un processus amélioré menant à la recherche. Il peut y avoir une demande de brevet.
2. Une décision affirmative de faisabilité technique et économique conduit à des travaux de développement et de production de prototypes et d'essais.
3. Avec la traduction en production commerciale - l'innovation " ponctuelle " initiale - le processus d'innovation ne s'arrête pas, mais se poursuit avec des améliorations de l'innovation initiale et la diffusion de cette innovation à d'autres entreprises et industries.
4. L'étape de diffusion et d'amélioration de l'innovation au niveau national passe par une étape supplémentaire au fur et à mesure qu'elle s'étend à l'utilisation internationale.

Alors que les étapes 1 et 2 sont des ingrédients essentiels à l'innovation, Johnson observe que l'économie ne reçoit aucun avantage tant que l'étape 3 n'est pas atteinte. Suivant cette rhétorique, on peut affirmer que l'innovation ne se produit véritablement que lorsque l'invention ou la découverte est convertie en un produit, un service ou un processus consommable.

Dans la figure ci-dessous, les étapes 3 et 4 sont ensemble, la séquence est donc divisée en trois étapes. La première étape, qui correspond à l'étape 1, consiste en une recherche fondamentale. L'étape 2 consiste à transformer une découverte ou une idée issue de la recherche fondamentale de l'étape 1 en un produit ou service potentiellement commercialisable. L'étape 3 fait référence à la commercialisation et à la diffusion d'un nouveau produit ou service.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

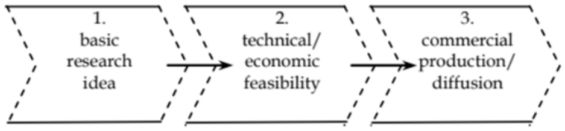


Figure 3. La séquence d'innovation

- La vallée de la mort

En général, l'industrie privée a tendance à sous-investir dans les activités de recherche et de développement. Les lacunes de la maximisation du profit pour la recherche ne se limitent pas uniquement à la recherche fondamentale. Il existe également des insuffisances de financement aux stades intermédiaires de la recherche d'innovations où la recherche est plus appliquée mais encore loin de la commercialisation. Ce manque à gagner crée une vallée de la mort où les bonnes découvertes de laboratoire échouent et meurent en raison d'un manque de financement nécessaire pour devenir un produit commercial. Une autre raison est, comme mentionné ci-dessus, une pénurie de sources de financement pour les projets technologiques.

Pour qu'il y ait une vallée dans la séquence d'innovation, il doit y avoir un déficit de financement à un stade intermédiaire qui soit plus systématique et plus profond que le déficit de part et d'autre du stade intermédiaire.

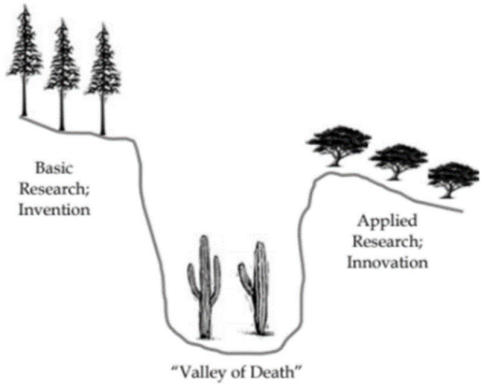


Figure 2. L'image de la vallée de la mort

Ce qui est intéressant à propos de la Vallée de la Mort n'est pas seulement de comprendre la difficulté d'obtenir un financement pour des projets de stade intermédiaire, mais aussi de comprendre pourquoi de telles difficultés ne sont pas aussi apparentes pour la recherche de stade de base, ou comment ces problèmes sont surmontés. Alors que le risque, l'incertitude, les retombées et les rendements d'échelle croissants sont de plus en plus répandus à ces étapes et constituent une composante

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

nécessaire à l'apparition d'une vallée de la mort, ces facteurs ne peuvent à eux seuls expliquer la présence d'une vallée dans la séquence d'innovation.

Le processus d'innovation ne se limite pas à faire de nouvelles découvertes. Pour que la société en profite, ces découvertes doivent se traduire en produits, services ou processus utiles et innovants, diffusés et intégrés à l'ensemble de l'économie.

Les décideurs politiques devraient s'efforcer d'étudier et d'explorer toutes les méthodes permettant de garantir que le processus d'innovation progresse sans entrave, car la société ne bénéficiera que des découvertes et des inventions qui sont finalement mises en œuvre dans la production de biens et de services.

2. Cadres d'innovation Lean

De nos jours, l'innovation est présente dans nos vies et dans les affaires. De nombreuses entreprises créent des unités et des départements d'innovation pour développer de nouvelles idées afin d'atteindre leurs objectifs. Cependant, selon les études de Harvard, il y a un taux d'échec de 70 à 90 % dans leurs initiatives d'innovation.

Grâce à un cadre d'innovation minimum viable, les idées sont identifiées, hiérarchisées, financées, partagées, récompensées et développées. Comme le cadre est axé sur le maintien de tout ce qui est léger, le travail et l'allocation des ressources sont réduits.

Pour mettre en œuvre avec succès un cadre d'innovation Lean dans une entreprise, un employé approprié doit être le leader et responsable de l'innovation.

Ses fonctions seront :

- Définir les écarts entre les objectifs et les opérations en cours.
- Afin d'empêcher l'organisation de créer des projets d'innovation inefficaces, devrait faire un projet de recherche avec les utilisateurs finaux du projet d'innovation proposé.
- Construire une équipe d'innovation pour s'occuper et diriger dans le cadre de l'innovation Lean :
    - Gardez l'équipe petite
    - Le leader de l'innovation doit désigner une personne qui vit et respire l'innovation
    - L'équipe doit cesser de penser à l'organisation pour laquelle elle travaille. L'équipe doit être diversifiée.
    - Gérer les frictions créatives et supprimer les barrières de communication.
- Il/Elle collaborera avec le responsable de l'organisation et le responsable des finances pour identifier les projets d'innovation.
- Travailler avec la haute direction pour créer un comité d'innovation.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Pour résumer, le cadre aide l'entreprise à trouver des obstacles à la réalisation de l'innovation, à faire des progrès tangibles avec l'augmentation de la prévisibilité et de la productivité des investissements dans l'innovation. Il créera également des partenariats pour soutenir les efforts d'innovation ou se tenir au courant des évolutions du marché.

2.1. Manifeste Agile

Ce manifeste vise à rendre le développement de logiciels plus agile et à trouver des moyens d'améliorer le processus tout en aidant les autres à faire de même. Son éthos s'articule autour de principes. Les quatre clés sont :

- Établir des liens et faciliter les interactions à travers les discussions sur les processus et les outils ;
- Utiliser une documentation élaborée pour créer un produit fonctionnel ;
- Mettre l'accent sur la collaboration avec les clients, notamment par la négociation avec les clients ;
- Formuler des plans pour adopter et répondre au changement.

Figure 3. Le Manifeste Agile

Ces principes mettent spécifiquement l'accent sur le personnel, plus encore que sur le développement qui en résulte.

Le Manifeste Agile a été créé en février 2001 au Lodge de la station de ski Snowbird, dans l'Utah, par des représentants issus de divers horizons en matière de développement de logiciels, dont Extreme Programming, SCRUM, DSDM, Adaptive Software Development, Crystal et Feature-Driven Development, qui ont tous signé la première version de Le Manifeste Agile.

Le nom de ces représentants est devenu connu sous le nom de "The Agile Alliance" qui se considèrent comme des penseurs indépendants, parfois concurrents, dans le monde du développement logiciel. Lors de l'élaboration du Manifeste, ce groupe est devenu de plus en plus conscient des aspects

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

interpersonnels et émotionnels du développement et de la collaboration, en accordant une attention particulière à l'importance d'avoir un ensemble de valeurs basées sur la confiance et le respect mutuels, et en promouvant le développement basé sur les personnes afin de créer des environnements de travail et communautés. Ainsi, la méthodologie Agile est au cœur des valeurs et de la culture.

Une étude de cas réussie qui peut être utilisée ici est la croissance de l'utilisation et de l'intérêt de l'Extreme Programming. Dans ce cas, son essor ne réside pas dans la refactorisation ou la programmation en binôme, mais parce qu'il a défini de manière holistique une communauté de développeurs indépendante des sociétés Dilbertesques systématiques. Ces types de sociétés sont une incarnation du principe Dilbert, émanant d'un concept de gestion fondé par Scott Adams, créateur de la bande dessinée Dilbert. Ce principe s'est lui aussi inspiré du principe de Peter, qui évalue l'évaluation des salariés par l'entreprise. Principalement, il explique comment les promotions basées sur le succès des employés sont examinées par rapport au poste qui leur est attribué, jusqu'à ce qu'ils soient jugés incompétents et ne puissent plus être promus. Ainsi, en utilisant ce principe, Adams suggère qu'il existe une tendance dans les entreprises où les employés incompétents ou inférieurs sont systématiquement promus à un poste de direction afin de les retirer du flux de travail. Le principe de Dilbert soutient ainsi que si ces travailleurs « incompétents » sont promus à un poste de direction, les impacts négatifs que cela a sur la productivité de l'entreprise sont donc limités.

Avec cette étude de cas, la méthodologie Agile vise à réévaluer les processus standard "fixes" qui mettent à rude épreuve les développeurs de logiciels et créent un faux sentiment d'échec lorsqu'un délai n'est pas respecté.

Par conséquent, pour avancer et réussir dans cette nouvelle économie basée sur l'e-business, les entreprises doivent sans doute s'éloigner des manifestations Dilbert de politiques exclusives, excluantes et complexes. Cela peut se produire en utilisant des composants de méthodologies agiles qui sont à l'opposé du traditionalisme et poussent à la transparence et à l'empathie envers le produit et le client.

Le Mouvement Agile tente donc de recrédibiliser le concept de « méthodologie » lui-même, afin de rétablir un équilibre au sein des entreprises. Le mouvement vise à le faire en adoptant la modélisation, la documentation, la planification et la réorganisation dans les limites d'un environnement turbulent. Cette méthodologie est née d'une réunion antérieure dans la même loge en 2000 où des individus principalement composés de partisans de la programmation extrême ont commencé à parler de méthodologies "légères", ce qui a abouti à divers articles écrits plus tard cette année-là sur ce type de méthodologie ainsi que "léger" processus. En 2001, une rencontre plus formelle a eu lieu avec tous les promoteurs ayant une expertise en la matière, afin de bien définir le terme. Grâce à cela, ainsi qu'aux discussions susmentionnées, l'Alliance Agile et le Manifeste Agile qui a suivi ont été établis et avec elle l'objectif de faire en sorte que les professionnels et les entreprises de la sphère du développement logiciel réfléchissent à ses méthodologies et organisations sous un jour nouveau et agile.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.2. Méthodologie de la Startup Lean

Le succès du démarrage peut être conçu en suivant le processus, ce qui signifie qu'il peut être appris, ce qui signifie qu'il peut être enseigné.

La Startup Lean fournit une approche scientifique pour créer et gérer des startups et mettre plus rapidement le produit souhaité entre les mains du client. La méthode Startup Lean vous apprend à diriger une startup - comment diriger, quand tourner et quand persévérer - et développer une entreprise avec une accélération maximale. Il s'agit d'une approche raisonnée du développement de nouveaux produits.

Trop de startups commencent par une idée de produit qu'elles pensent que les gens veulent. Ils passent ensuite des mois, parfois des années, à perfectionner ce produit sans jamais le montrer, même sous une forme très rudimentaire, au client potentiel. Lorsqu'ils ne parviennent pas à atteindre une large adhésion des clients, c'est souvent parce qu'ils n'ont jamais parlé aux clients potentiels et déterminé si le produit était intéressant ou non. Lorsque les clients finissent par communiquer, par leur indifférence, qu'ils ne se soucient pas de l'idée, la startup échoue.

Le cycle de la startup Lean est :

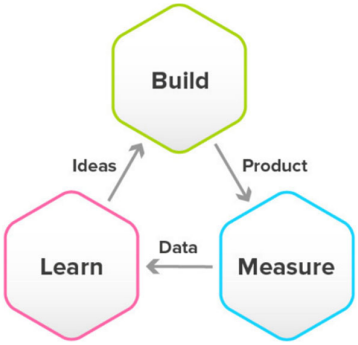


Figure 4. Méthodologie du Cycle de la Startup Lean

Construire : faites un prototype rapidement ou développez une autre méthode qui vous permette de tester votre hypothèse rapidement et avec précision.

Mesure : mesure les résultats

Apprendre : apprendre des résultats. Cela vous donne de nouvelles idées pour améliorer votre produit ou service.

Ce cycle est alors répété. Selon Eric Ries, l'entreprise qui est capable de répéter ce cycle le plus rapidement finira par gagner. Eric Ries appelle ce processus un Pivot. Le pivot est en fait une hypothèse ou un changement de stratégie sans changer de vision. Si le pivot est correct, vous l'implémentez dans

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

d'autres parties du produit. Après cela, vous mesurerez, analyserez et conclurez que la conversion globale augmente ou diminue également. Le fait est que la plupart des entreprises consacrent beaucoup plus d'énergie au développement de projets qu'à la mesure et à l'apprentissage du développement.

HISTOIRES DE RÉUSSITES

Zappos est l'un des bons exemples de méthodologie de démarrage Lean. Cette société est le premier détaillant de chaussures en ligne, qui vend désormais de tout, des bottes aux sacs.

L'entreprise a démarré en 1999. Le fondateur, Nick Swinmurn, a eu son inspiration initiale en raison de sa propre frustration en tant que consommateur.

Au départ, il ne savait pas si les clients étaient prêts à acheter des chaussures en ligne. Il voulait tester son hypothèse selon laquelle les consommateurs achèteraient des chaussures en ligne et il l'a fait à travers un produit viable minimal.

Son plan était d'approcher les magasins de chaussures locaux. Swinmurn a pris des photos de leur inventaire et les a publiées en ligne sur un site Web basique. Lorsqu'il recevait une commande, il achetait les chaussures dans les magasins au prix fort, puis il les envoyait directement aux clients. Il a prouvé qu'il existait une demande de niche.

La première année, le chiffre d'affaires était minime. En 2000, les ventes de Zappos ont atteint 1,5 million de dollars américains. Un an plus tard, ses ventes ont quadruplé avec un bénéfice de 8,6 millions de dollars. À cette époque, la publicité était pratiquement inexistante et elle se développait principalement par la bouche à oreille.

10 ans plus tard, Amazon a acheté Zappos pour 1 300 millions de dollars américains. L'objectif de Zappos était de générer des synergies avec Amazon pour unir les forces des deux sociétés et réaliser une croissance à long terme. Dans cette transaction, Zappos s'est maintenu comme une entreprise indépendante avec ses propres valeurs et son ADN.

En 2004, en raison de la croissance de l'entreprise, Zappos a déménagé de San Francisco à Las Vegas. Tous les employés ont été invités à donner leur avis sur ce que la culture Zappos signifiait pour eux. À la suite de cela, la société a publié le "Culture Book". Ce livre est distribué annuellement aux salariés et à toute personne qui en fait la demande.

En 2005, les 10 valeurs culturelles ont été établies. Ceux définis toute l'entreprise sont : le service, la stratégie qualité, le traitement des employés ou la relation avec les fournisseurs.

Les dix valeurs sont :

- Fournir WOW via le service

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Embrasser et conduire le changement
- Créez du plaisir et un peu d'excentricité
- Soyez aventureux, créatif et ouvert d'esprit
- Poursuivre la croissance et l'apprentissage
- Construire des relations ouvertes et honnêtes avec la communication
- Construire un esprit de groupe et de famille positif
- Faire plus avec moins
- Soyez passionné et déterminé
- Soyez humble

Zappos est la seule entreprise qui a développé des valeurs comme celles-ci. C'est peut-être ce qui fait de cette entreprise la meilleure entreprise d'expérience client. Pour eux, les valeurs ne sont pas ce qui est écrit sur papier, mais plutôt ce que les gens font et ce que ça fait de le faire.

D'autres entreprises avec des résultats réussis sont Dropbox, Wealthfront, Grockit, Imvu, Votizen ou Aardvark sont quelques exemples de réussites utilisant cette méthodologie.

Plus d'information : http://theleanstartup.com/casestudies

Références

[1] G. Ford, T. Koutsky, L. Spiwak, *An Economic Investigation of the Valley of Death in the innovation sequence*. USA: Phoenix Center, 2007.

[2] NASA. TRL definitions. [Online]. Disponible sur : Microsoft Word - TRL Definitions.doc (nasa.gov) [Consulté : Juin 12, 2021].

[3] The Lean Startup. The Lean Startup case studies. [Online]. Disponible sur : The Lean Startup | Case Studies [Consulté : Juin 18, 2021].

[4] E. Ries. *The Lean Startup: How Constant Innovation Creates Radically Successful Businesses*. USA: Penguin, 2011

[5] R.E. Johnson. *Technical Progress and innovation*. United Kingdom: Oxford Economic Papers, 1966

[6] J. Hudson, J. Khazragui. *Into the Valley of Death: Research and Innovation* Netherlands: Elsevier, 2013.

[7] The Agile Manifesto. [Online]. Disponible sur : Manifesto for Agile Software Development (agilemanifesto.org) [Consulté : Juin 3, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : La vallée de la mort est :

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

d) L'écart entre la recherche et le développement de nouveaux produits

e) Un système de mesure

f) Une collaboration entre petites et grandes entreprises

Question 2 : Le cycle de la startup lean est :

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) Construire, mesurer et apprendre

b) Apprendre, construire et mesurer

c) Mesurer, apprendre et construire

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 8.3 Le travail en équipe et l'apprentissage basé sur le jeu comme méthodes pédagogiques

Matteo Paradisi
CIAPE

1. Travail d'équipe

1.1. Introduction à la définition du travail en équipe

Le mot « équipe » peut être défini comme un groupe de personnes en interaction, avec un lien de nature psychologique. Ce lien définit les sentiments d'appartenance qui vont se mettre en place parmi les membres du groupe et qui amènent le groupe à avoir une forme relationnelle et affective spécifique.

D'un autre côté, une équipe de travail est quelque chose de plus. Il peut être défini comme un groupe de personnes intégrées. Dans l'intégration, le groupe met en œuvre une cohésion qui permet aux membres de reconnaître le groupe lui-même, leur permet d'établir des relations, et les conduit à la perception des avantages liés à l'agrégation d'un collectif. La seule interaction ne suffit pas. Pour constituer une équipe de travail, nous devons passer de l'interaction à l'interdépendance. Cela signifie que les membres prennent conscience qu'ils dépendent les uns des autres [1].

L'interaction est basée sur la perception de la présence ; tandis que l'interdépendance repose sur la perception d'un besoin mutuel et sur l'échange. L'acceptation de la dépendance au sein du groupe et de la dépendance de l'extérieur est l'une des étapes les plus critiques vers le travail en équipe. Elle implique l'élaboration de frontières de groupe et de limites imposées aux individus.

L'intégration et l'interdépendance impliquent le développement d'une collaboration, qui définit un espace de travail commun, de participation active de tous les membres. La collaboration repose sur :

- Relations de confiance entre les membres : cela signifie que les membres ont confiance en leurs capacités, en leurs propres expériences et connaissances, ainsi qu'en celles des autres. La confiance, c'est aussi la conviction que dans l'équipe de travail ni les idées ni les individus ne sont en conflit, mais différentes hypothèses sont en concurrence par rapport à l'objectif de participation de chacun.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Négociation : c'est le processus central de la collaboration. cela signifie prendre son propre point de vue et le comparer avec les autres. Négocier, c'est élargir le champ des possibles, des alternatives, en tenant compte du fait qu'une définition complexe ne peut être atteinte qu'en articulant les différences et non en les éliminant.

- Le partage, c'est l'aboutissement de la négociation et c'est la condition permettant à l'équipe de travail de prendre les décisions et d'atteindre les objectifs. Le partage établit un contrat psychologique dans l'équipe de travail, qui donne du sens au travail effectué et permet aux individus de reconnaître l'accomplissement du groupe comme leur propre résultat.

1.2. Travailler en équipe

Le travail en équipe peut être présenté comme un sous-système (avec des objectifs, des rôles, des processus et des interdépendances). L'équipe de travail, en tant que sous-système du système organisationnel, est vécue par des individus simultanément sur trois dimensions [2] :

- ✓ La dimension institutionnelle, où les membres doivent atteindre les résultats fixés par la direction de l'organisation ;
- ✓ La dimension sociologique, dans laquelle s'instaure une solidarité ; qui lui permet d'atteindre l'objectif commun ;
- ✓ La dimension psychologique, où chaque individu développe un sentiment d'appartenance au groupe.

En tant que système organisé, l'équipe de travail vise à atteindre une pluralité d'objectifs. Nous pouvons faire une première division entre les objectifs externes ou internes.

Objectifs externes

L'objectif externe principal est l'objectif organisationnel, qui est souvent la raison pour laquelle l'équipe de travail a été constituée. Ensuite, nous avons l'objectif fondamental concernant la tâche spécifique que l'équipe de travail assume dans l'organisation.

Objectifs internes

On peut distinguer les objectifs sociaux et individuels. Les objectifs sociaux concernent le groupe dans son ensemble. Les objectifs individuels concernent les besoins des membres individuels. Une équipe de travail n'est pas efficace si l'objectif à atteindre n'est pas clair et partagé par ses membres : c'est la condition nécessaire pour obtenir des résultats. La réalisation de tous ces objectifs passe par une série de processus interdépendants.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Certains de ces processus ont une caractérisation organisationnelle-opérationnelle (processus analytiques, informationnels, décisionnels, de mise en œuvre, de coordination, méthodologiques). Ces processus concernent l'acquisition et le traitement d'informations. En revanche, certains autres processus ont une plus grande caractérisation psycho-sociale (processus de facilitation, d'expression, d'implication dans la communication, de régulation).

Tous ces processus contrôlent la communication, la création de règles et de normes, la répartition des tâches entre les membres de l'équipe de travail.

1.3. Points clés pour constituer une équipe de travail efficace

Communication

La communication est un processus clé qui permet à l'équipe de travail de bien travailler en assurant l'échange d'informations, en les finalisant pour obtenir des résultats. Ce faisant, la communication a des impacts sur les relations interpersonnelles, décide des accords et des désaccords, favorise la collaboration et les conflits. La communication « fait » donc l'équipe de travail. La communication dans l'équipe de travail apparaît donc comme un processus interactif, informatif et transformateur, dans un contexte interne et externe spécifique, régi par des règles, et se déroule avec des caractéristiques temporelles particulières. La condition temporelle où la communication a lieu est le présent, tandis que la planification de l'avenir et la mémoire du passé sont ses limites.

Méthode

Une équipe de travail doit avoir une méthode. La méthode a pour référence les règles de fonctionnement : c'est la règle de travail et d'interaction professionnelle dans les groupes qui fondent le travail de l'équipe. Cela nécessite le respect de procédures et d'un enchaînement de comportements prédéterminés, d'actions définies.

Rôles

Une des caractéristiques d'une équipe de travail efficace est la capacité d'utiliser et de valoriser les différences représentées par ses membres : différences d'expériences, de compétences, d'approches. Chaque équipe de travail doit traduire ces différences d'une manière ou d'une autre également en règles de fonctionnement. Cela correspond à l'idée du rôle (ou du système des rôles).

Humeur

Par humeur, nous entendons l'ensemble des perceptions, des expériences, des sentiments des membres, qui ont un impact sur la qualité de l'équipe de travail ; son "atmosphère". Parmi les éléments à prendre en compte en ce qui concerne l'équipe de travail, on peut citer :

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- l’accompagnement : le sentiment de confiance dans la possibilité d'obtenir les ressources nécessaires à l'exécution de la tâche ;

- la chaleur : la qualité de la relation et la distance interpersonnelle entre les membres de l'équipe de travail ;

- la reconnaissance des rôles : elle donne le niveau de perception et d'acceptation des différences individuelles ;

- l’ouverture et le feedback : la perception de la possibilité d'exprimer des idées, des doutes et des sentiments dans l'équipe de travail sans craindre d'être incompris.

2. Jeu et éducation

2.1. Quelques principes de jeu pour impliquer les étudiants

Les recherches dans l'industrie montrent que les générations d'étudiants sont différentes des précédentes ; ils utilisent massivement internet et les jeux vidéo et ont acquis des compétences techniques spécifiques, une nouvelle façon de penser et des préférences d'apprentissage différentes, ce qui nécessite évidemment une nouvelle approche pédagogique (Oblinger & Oblinger, 2005 ; Prensky, 2011 ; Bourgon-jon et al., 2009) [3]. En conséquence, les enseignants, qui doivent constamment rechercher un équilibre entre la réalisation des objectifs d'apprentissage et l'implication active des élèves à une époque de distraction technologique constante, ont tourné leur attention vers des outils d'enseignement interactifs, tels que les pratiques de jeu.

Quelques principes de jeu pour impliquer les étudiants [4]

1. La dynamique de l'histoire : enveloppez-les dans l'histoire. Dans tout programme d'études basé sur un projet, l'histoire est le processus. Le produit est la fin. Qui voudrait voir les dix dernières minutes d'un film ? Ou lire juste le dernier chapitre d'un livre ? En ce qui concerne les jeux, les livres et les films, nous sommes généralement beaucoup plus intéressés par la façon dont les personnages sont arrivés là que par où ils finissent.
2. La dynamique de l'échec : échouer tôt, échouer souvent. Dans certains jeux, les joueurs doivent en fait échouer plusieurs fois pour réussir. Certains niveaux ne peuvent tout simplement pas être résolus tant que vous n'avez pas passé quelques parties à localiser les obstacles. De cette façon, échouer plusieurs fois permet aux joueurs d'aller un peu plus loin à chaque fois qu'ils essaient. Cela favorise une approche itérative et soulage le grand écran rouge "Game Over".
3. La dynamique de flexibilité : fournir plusieurs chemins vers le succès. Essayez de créer plusieurs chemins vers la réussite dans votre cours. Envisagez de proposer une « quête

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

principale » ou un scénario qui guide les élèves à travers le contenu principal, mais proposez de nombreuses « mini-quêtes » qui permettent aux élèves d'approfondir certains chemins.

4. La dynamique de progression : échafauder et reconnaître les progrès. Chaque jeu moderne a un niveau de didacticiel qui échafaude les progrès du joueur en mettant en place une série de niveaux simples, chacun conçu pour enseigner une nouvelle compétence, et chacun s'appuyant sur les niveaux précédents. Cela permet aux joueurs de développer de nouvelles compétences dans le contexte des niveaux de jeu, et s'ils réussissent, le concepteur sait qu'ils ont maîtrisé ce niveau.
5. La dynamique de la construction : construisez quelque chose qui compte. Les badges et les réussites à eux seuls ne donneront pas un sens à l'école si les élèves ne se sentent pas engagés dans la création de quelque chose qui a un but. Trouvez des moyens d'impliquer les élèves dans votre propre classe en tendant la main à la communauté dans son ensemble ou en mettant vos élèves au défi de créer une initiative qui leur tient à cœur.

La littérature du secteur (E. Sampat, C. Devers, R. Landers, K. Toyama) souligne qu'un usage inconsidéré du jeu, sans une bonne préparation des enseignants, peut s'avérer inefficace voire dans certains cas contre-productif. Nous devons comprendre comment contextualiser le jeu dans le parcours d'apprentissage pour l'adapter aux besoins spécifiques du public cible. En ce sens, l'apprentissage basé sur le jeu peut être considéré comme une méthodologie très innovante de soutien à l'enseignement pour obtenir de meilleurs résultats d'apprentissage par les apprenants (à travers le développement d'expériences ludo-éducatives).

2.2. La différence entre la gamification (ludification) et l'apprentissage basé sur le jeu

Les pratiques de gamification adoptées pour soutenir les processus d'apprentissage mis en œuvre dans les secteurs de l'éducation et de la formation professionnelle sont un phénomène en croissance rapide. L'une des premières notions à prendre en compte est la différence entre les termes « gamification » et « game-based learning » [5]. Parfois, ces deux mots se chevauchent ; mais ils ont des significations très différentes et aussi les domaines d'application peuvent être très différents.

APPRENTISSAGE BASÉ SUR LE JEU : adoption de jeux à des fins éducatives. « C'est utiliser un jeu dans le cadre du processus d'apprentissage. GBL vise à enseigner une compétence distincte ou un résultat d'apprentissage spécifique, plutôt que d'être un système pédagogique complet ».

GAMIFICATION : application de mécanismes de jeu aux interventions éducatives à l'échelle mondiale. « Cela transforme l'ensemble du processus d'apprentissage en un jeu. Il prend des mécanismes de jeu et des éléments de gameplay et les applique aux cours et contenus d'apprentissage existants afin de mieux motiver et engager les apprenants ». (Youssef 2015)

2.3. La gamification dans l'apprentissage

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Le principal moteur de l'adoption des techniques de gamification [6] est « l'amélioration de la motivation et de l'engagement dans les tâches d'apprentissage » (Ott & Tavella, 2009). L'objectif final est de « rendre l'apprentissage plus attractif, captivant et, in fine, efficace »
« Les techniques de gamification sont adoptées pour soutenir l'apprentissage dans une variété de contextes éducatifs et de domaines, mais aussi pour aborder les attitudes et les comportements transversaux tels que la collaboration, la créativité et l'étude autoguidée. (Un examen approfondi (en particulier des articles rapportant des expériences sur le terrain) a également montré que si les techniques de gamification sont adoptées pour soutenir l'apprentissage en classe de contenus dans des domaines spécifiques, elles sont également utilisées pour poursuivre des objectifs transversaux, tels que la promotion d'approches participatives et la collaboration entre pairs (Li, Dong, Untch et Chasteen, 2013), l'apprentissage autoguidé (Watson, Hancock et Mandryk, 2013), la réalisation de devoirs (Goehle, 2013), rendant les procédures d'évaluation plus faciles et plus efficaces (Moccozet, Tardy , Opprecht, & Léonard, 2013), l'intégration d'approches exploratoires de l'apprentissage (Gordillo, Gallego, Barra, & Quemada, 2013), et le renforcement de la créativité des élèves (Barata, Gama, Fonseca, & Gonçalves, 2013) ».

Pratiquer des jeux numériques implique des formes d'apprentissage culturelles, cognitives, sociales et autodirigées (Kutner & Olson 2008 ; Gee 2003) et se déroule dans un environnement d'apprentissage informel et autorégulé. Les joueurs cultivent des capacités de réflexion d'ordre supérieur (Beck/Wade, 2004) et développent des capacités de résolution de problèmes (Squire, 2006) dans des contextes sociaux (Steinkuehler, 2007).

Éléments et principes pouvant conduire à la gamification dans l'apprentissage :

- ✓ Fournir aux utilisateurs des moyens de montrer leur « statut »
- ✓ Fournir aux utilisateurs un moyen de comparer et de classer leurs performances relatives
- ✓ Fournir des niveaux clairs pour la progression de l'utilisateur
- ✓ Inclure des éléments qui encouragent la concurrence
- ✓ Offrir la meilleure immersion numérique possible
- ✓ Permettre le partage et la personnalisation

2.4. Classification en gamification

La gamification peut être classée en deux grands types d'activités :

1. Gamification structurelle : il s'agit de l'application d'éléments de jeu à l'apprentissage en ligne pour accélérer un apprenant à travers les supports de cours sans apporter de modifications au matériel de cours lui-même. Au contraire, la structure autour du contenu change. Par exemple, l'apprenant gagne des points pour l'achèvement du cours et la certification. La collecte de points parmi tous les apprenants est suivie soit par entreprise, soit par compétence

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

commerciale ou par département et publiée dans un classement pour un classement compétitif qui peut finalement conduire à une forme de récompense ou de reconnaissance.

2. Gamification du contenu : c'est là que l'injection de jeux ou d'éléments de type jeu est intégrée dans le didacticiel lui-même. Des exemples pourraient être commencer un cours avec un défi plutôt que des objectifs seuls, ou ajouter des questions chronométrées pour la collecte de points. Ces éléments ne changent pas nécessairement la structure globale du parcours en un jeu. Cependant, ils ajoutent du contexte pour que les cours ressemblent davantage à un jeu.

3. Apprentissage basé sur le jeu comme approche pédagogique

3.1. Focus sur l'apprentissage par le jeu

Les jeux ont été utilisés comme outil d'apprentissage pendant des siècles.

Le concept de base derrière l'apprentissage basé sur le jeu est l'enseignement par la répétition, l'échec et la réalisation d'objectifs [7]. Les jeux vidéo sont construits sur ce principe. Le joueur commence lentement et gagne en compétence jusqu'à ce qu'il soit capable de naviguer habilement dans les niveaux les plus difficiles. Des jeux bien planifiés et bien conçus offriront suffisamment de difficulté pour rester difficile tout en étant assez faciles à gagner pour le joueur.

L'apprentissage basé sur le jeu reprend ce même concept et l'applique à l'enseignement d'un programme. Les élèves travaillent vers un objectif, en choisissant des actions et en expérimentant les conséquences de ces actions. Ils apprennent activement et pratiquent la bonne façon de faire les choses [8]. Le résultat est un apprentissage actif au lieu d'un apprentissage passif.

L'apprentissage basé sur le jeu est conçu pour être adaptatif dès le début. Pendant le processus de production, le jeu est testé et ajusté pour devenir un outil d'apprentissage plus efficace. Au fur et à mesure que de nouvelles informations sortent sur le terrain ou que les approches pédagogiques sont ajustées, le jeu peut être modifié pour leur convenir. Une fois le jeu sorti, il peut être mis à jour avec de nouvelles informations, approches, etc. Les jeux ont même des outils d'analyse de suivi des élèves qui permettent aux enseignants de surveiller les élèves afin que le jeu puisse être ajusté dans les futures mises à jour.

Un point important est de surmonter la généralisation selon laquelle les étudiants sont simplement motivés par les jeux ; nous devons comprendre exactement ce qui, dans les jeux, motive et attire les étudiants. Afin de mettre en œuvre une approche ludique réussie, il est nécessaire d'encourager la réflexion chez les élèves après leur performance de jeu.

Caractéristiques pour un jeu d'apprentissage efficace :

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- strict

- engageant

- aligné sur les normes définies

Avantages du jeu d'apprentissage

- L'élève acquiert beaucoup plus de matière et augmente le maintien de ce qu'il a appris

- La combinaison de différentes approches et d'un apprentissage basé sur les objectifs affecte tous les styles d'apprentissage en même temps

- Les jeux d'apprentissage offrent aux élèves un environnement sûr en cas d'échec.

3.2. Comment l'enseignement basé sur le jeu peut être intégré dans le contexte de l'éducation formelle

La littérature s'accorde généralement sur l'importance d'introduire une approche d'apprentissage par le jeu dans l'éducation formelle [9]. En conséquence, il existe plusieurs cadres pédagogiques décrivant comment les jeux peuvent être intégrés dans les processus d'éducation formelle. Mais il n'y a pas tellement d'informations sur la façon dont les enseignants peuvent réellement introduire des jeux (Game Based Teaching).

Le rôle de l'enseignement est essentiel pour un processus d'apprentissage par le jeu efficace et réussi. Il est nécessaire que les enseignants soient capables de contextualiser le jeu dans le parcours d'apprentissage et de l'adapter aux besoins spécifiques des élèves. De cette façon, les enseignants peuvent être considérés comme des animateurs d'apprentissage dotés des compétences nécessaires pour utiliser efficacement les jeux dans leurs pratiques d'enseignement.

Le contenu ci-dessous dédié à l'introduction d'une approche innovante de l'enseignement basé sur le jeu est entièrement tiré de « Enseignement basé sur le jeu : pratiques, rôles et pédagogies » - Thorkild Hanghøj - Université d'Aalborg - Research Gate [10]).

L'intégration réussie des jeux dans le programme scolaire est en fin de compte une question de fournir aux enseignants une autonomie suffisante pour le programme, une alphabétisation des jeux et des connaissances sur la façon de concevoir et de faciliter des expériences d'apprentissage significatives.

L'enseignement par le jeu peut être considéré comme une interaction dynamique de quatre pratiques de connaissance :

1) Pratiques de connaissances spécialisées ou curriculaires
2) Pratiques de connaissances pédagogiques

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3) Pratiques de connaissance quotidiennes ou non spécialisées
4) Pratiques de connaissance spécifiques au scénario

L'utilisation pédagogique de scénarios de jeu nécessite toujours des traductions dynamiques à travers les quatre pratiques de connaissance. Le terme traduction est utilisé pour décrire les interprétations et les choix que les enseignants doivent faire pour « lire » et repenser les scénarios de jeu pour les pratiques curriculaires et les pratiques pédagogiques tout en prêtant attention aux expériences de jeu antérieures des élèves.

Les 4 rôles de l'enseignement basé sur le jeu

L'enseignement basé sur le jeu ne doit pas être compris comme une pratique fixe car il implique un répertoire de rôles d'enseignants changeants. Les enseignants alternent entre quatre rôles différents lorsqu'ils facilitent des jeux à des fins éducatives :

1. Instructeur : concerne la planification et la communication par l'enseignant des objectifs généraux d'un scénario de jeu par rapport à des objectifs d'apprentissage particuliers. Ce rôle fait partie intégrante des pratiques quotidiennes de la plupart des enseignants, par ex. lorsqu'il donne des instructions manifestes en rapport avec un sujet du programme d'études
2. Meneur de jeu : fait référence à la capacité des enseignants à communiquer les tâches, les rôles, les objectifs et la dynamique d'un scénario de jeu particulier du point de vue du joueur. Ce terme est emprunté au domaine des sports collectifs, où il décrit la capacité de « lire le jeu », c'est-à-dire en faisant des passes qui permettent à l'offense de marquer. Afin de comprendre comment un jeu donné peut être joué, les enseignants doivent imaginer comment les différentes phases du scénario de jeu se dérouleront lors de la préparation de la session de jeu et comment ils prévoient de répondre à l'interaction du jeu des élèves lors de l'animation du jeu.
3. Guide : Le rôle du guide résume la manière dont les enseignants soutiennent ou échafaudent les élèves dans leurs tentatives d'atteindre des objectifs d'apprentissage particuliers lorsqu'ils jouent à un jeu.
4. Évaluateur : enfin, les jeux exigent également que les enseignants jouent le rôle d'évaluateurs afin de rejouer des événements de jeu pertinents et de fournir une réponse qualifiée aux expériences de jeu des élèves.

Ces quatre rôles d'enseignant ne doivent pas être compris comme des types idéaux ou comme des objectifs normatifs pour enseigner avec des jeux. On peut plutôt les considérer comme des catégories heuristiques basées sur une analyse empirique des pratiques ludiques des enseignants.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] MIT. *The Basics of working on Team.* Mit.edu. Disponible sur : https://hr.mit.edu/learning-topics/teams/articles/basics [Consulté : Mars 22, 2021].

[2] Dispensa didattica. *Lavorare in team* – Fabrizio Coccetti, Progetto Equal 2012

[3] Y. Yuossef, "Gamification in e-learning". ResearchGate, February 2015.

[4] D. Kiang. 2014 October 14. Using Gaming Principles to Engage Students. Edutopia. [Online]. Disponible sur : https://www.edutopia.org/blog/using-gaming-principles-engage-students-douglas-kiang [Consulté : Mars 31, 2021].

[5] J.P. Sartre. 2020 July 2. Game-Based Learning: What Is It? GBL vs Gamification: Types and Benefits. Teacher Academy. [Online]. Disponible sur : https://www.teacheracademy.eu/blog/game-based-learning/ [Consulté : Avril 29,2021].

[6] Caponetto, J. Earp, M. Ott, "Gamification and Education: A Literature Review". ResearchGate, October 2014

[7] G. Chaill. Why game-based learning? The learning Counsel. [Online]. Disponible sur : https://thelearningcounsel.com/article/why-game-based-learning#:~:text=Game%2Dbased%20learning%20takes%20this,learning%20instead%20of%20passive%20learning [Consulté : Avril 23, 2021].

[8] Hoa P. Nguyen. 2021 Mars 21. How to Use Gameplay to Enhance Classroom Learning. Edutopia. [Online]. Disponible sur : https://www.edutopia.org/article/how-use-gameplay-enhance-classroom-learning [Consulté : Mars 31, 2021].

[9] A.d. Ficara. 2018 August 1. Rendere più coinvolgente l'apprendimento: "game based learning" e "gamification". La Tecnica della Scuola. [Online]. Disponible sur : https://www.tecnicadellascuola.it/rendere-piu-coinvolgente-lapprendimento-game-based-learning-e-gamification [Consulté : Mars 22, 2021].

[10] T. Hanghøj, "Game-based teaching: Practices, roles, and pedagogies". ResearchGate, January 2013

[11] D.G. Oblinger, J.L. Oblinger (editors), Educating the Net Generation, Educause, 2005. [Online]. Disponible sur : https://www.educause.edu/ir/library/PDF/pub7101.PDF [Consulté : Avril 23, 2021].

[12] Prensky, M., "Complexity Matters Mini-games are Trivial - but "Complex" Games Are Not", *Educational Technology*, 45 (4), pp. 1-15, 2005.

[13] J. Bourgonjon et al., "Acceptance of game-based learning by secondary school teachers", *Computers & Education*, 67, pp. 21–35, 2013

[14] J. Youssef, Essay: Gamification in eLearning, Management of Technologies in Education, 2015. [Online]. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/301202645_GAMIFICATION_IN_E_LEARNING [Consulté : Avril 28, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[15]M. Ott, M. Tavella, “A contribution to the understanding of what makes young students genuinely engaged in computer-based learning tasks”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 1, Issue 1, pp. 184-188, 2009

[16]Cen Li et al., “Engaging Computer Science Students through Gamification in an Online Social Network Based Collaborative Learning Environment”, *International Journal of Information and Education Technology,* 3(1), pp. 72-77, January 2013

[17]D. Watson, M. Hancock, R.L Mandryk, Gamifying behaviour that leads to learning, Proceedings of the First International Conference on gameful design, research, and applications, pp. 87-90, 2013

[18]G. Goehle, “Gamification and Web-based Homework”, *PRIMUS: problems, resources, and issues in mathematics undergraduate studies* 23(3), March 2013

[19]L. Moccozet et al., Gamification-based assessment of group work, Conference: Interactive Collaborative Learning, Kazan, Russia, September 2013. [Online]. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/255722750_Gamification-based_assessment_of_group_work [Consulté : Avril 28, 2021].

[20]A. Gordillo et al., “The city as a learning gamified platform”, 2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), pp. 372-378, 2013

[21]G. Barata et al., “Improving Student Creativity with Gamification and Virtual Worlds”, Proceedings of the 1st International Conference on Gamification, October 2013. [Online]. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/259821598_Improving_Student_Creativity_with_Gamification_and_Virtual_Worlds [Consulté : Avril 28, 2021].

[22]L. Kutner, C. K. Olson, *Grand Theft Childhood: The Surprising Truth About Violent Video Games and What Parents Can Do,* New York: Simon & Schuster, 2008.

[23]J.P. Gee, *What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy*, Palgrave Macmillan, 2003.

[24]J. C. Beck, M. Wade, *Got Game: How the gamer generation is reshaping business forever*, Boston, MA: Harvard Business School Press, 2004.

[25]K. Squire, “From Content to Context: Videogames as Designed Experience”, *Educational researcher*, Volume: 35, issue: 8, pp. 19-29, November 2006.

[26]C. Steinkuehler, ‘Massively Multiplayer Online Gaming as a Constellation of Literacy Practices”, *E-Learning and Digital Media*, Volume: 4, issue: 3, pp. 297-318, September 1, 2007.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

1. **Question 1** : Quelle est la bonne définition de « l'apprentissage basé sur le jeu » ?

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Adoption de jeux à des fins éducatives
b) Application de mécanismes de jeu aux interventions éducatives à l'échelle mondiale
c) Introduire des jeux existants dans les pratiques pédagogiques

1. **Question 2** : for an effective working team, the collaboration among members is based on:

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Relations de confiance entre les membres ; négociation ; partage
b) Relations de confiance entre les membres ; négociation ; règles fixes
c) Partage ; relations de confiance entre les membres ; hiérarchie

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 8.4 Commerce électronique

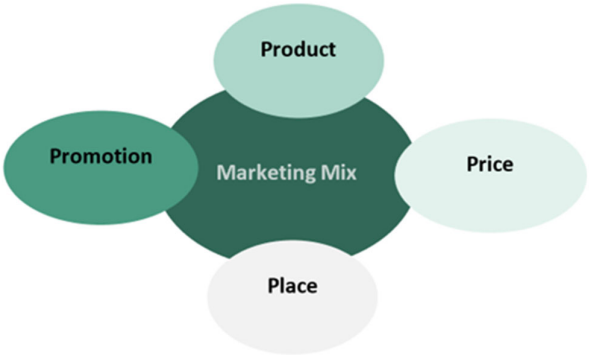
Melina Azariadi, Tia Bilali
CRE.THI.DEV.

1. Introduction

L'e-commerce (commerce électronique) désigne la vente et l'achat de biens/services sur l'internet. Il combine une variété de systèmes, de données et d'outils numériques et englobe toutes les activités commerciales réalisées via Internet. En général, les entreprises qui souhaitent être présentes sur le marché du commerce électronique créent une boutique/plateforme de commerce électronique où elles vendent leurs produits et acceptent les paiements en ligne [1]. La croissance du Web 2.0, en particulier par le biais des plateformes de réseaux sociaux, a suscité un grand intérêt dans différents domaines pour plusieurs activités commerciales [8]. Le terme "Web 2.0" a été défini de différentes manières, en commençant par l'année 1999, lorsque Darcy DiNucci l'a identifié pour la première fois, puis en 2004, lors d'une conférence, il a été défini comme une deuxième génération de développement technologique et de conception Web [8]. Plus tard et en termes plus courts, le terme Web 2.0 a été défini comme une technologie Internet avancée avec de multiples plates-formes de différents types telles que les blogs, les réseaux sociaux, les boutiques en ligne, etc. ; comme une collection d'applications en ligne à code source ouvert, interactives et contrôlées par l'utilisateur, élargissant les expériences, les connaissances et le pouvoir de marché des utilisateurs et des participants aux processus commerciaux et sociaux [8].

En basant le présent cours sur les définitions mentionnées ci-dessus et en les combinant avec le vaste Marketing Mix et les 4P : Produit, Prix, Place, Promotion, le commerce électronique est utilisé comme un outil de marketing au service de la nature des 4P.

Les P du marketing mix sont :



This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

1. *Le produit* : C'est le produit réel que le consommateur désire et que le producteur fabrique. En marketing, la première tâche est de réaliser les besoins du marché par le biais d'une étude, puis de développer l'article ou le service qui répondra au besoin réalisé.
2. *Le prix* : Il s'agit de la fixation du prix du produit, un concept utilisé pour calculer la somme d'argent que le consommateur devra payer afin de concevoir le produit/service par le fournisseur commercial respectif. Le prix est basé sur différentes méthodes avec des variables comme le coût de la production, de la promotion, du placement, du transport, des ressources, des parties du bien. La place : Il s'agit de la canalisation du produit ou du service. Le "où" des lieux où le consommateur devra se déplacer pour recevoir le produit. Le placement du produit est organisé après avoir effectué une étude du marché et des moyens de transport du produit.
3. *La promotion* : C'est ce qui incitera le consommateur à acheter les produits proposés par les acteurs commerciaux du marché. La promotion d'un produit comporte une grande variété de moyens et d'outils utilisés, un large éventail de types de promotion différents. Le marketing est, sinon le plus grand, du moins un élément très important de la promotion.

En observant la théorie mentionnée, le marketing actuel a déjà établi une perspective différente de la perspective catholique, à savoir le marketing numérique, et le commerce électronique en fait partie. Le commerce électronique est utilisé comme un outil de marketing numérique qui permet aux acteurs commerciaux de transmettre le marketing mix.

2. Commerce électronique 101

Les changements énormes et constants de la technologie ont fortement influencé la croissance du pouvoir du commerce électronique. L'éclatement de la crise COVID-19 a certainement contribué à cette direction, puisque la plupart des clients préfèrent faire leurs achats en ligne afin d'éviter la foule [2].

Par exemple, le graphique ci-dessous explique que les experts estiment que d'ici la fin 2024, les achats en ligne dépasseront le montant de 476 milliards de dollars, aux États-Unis.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

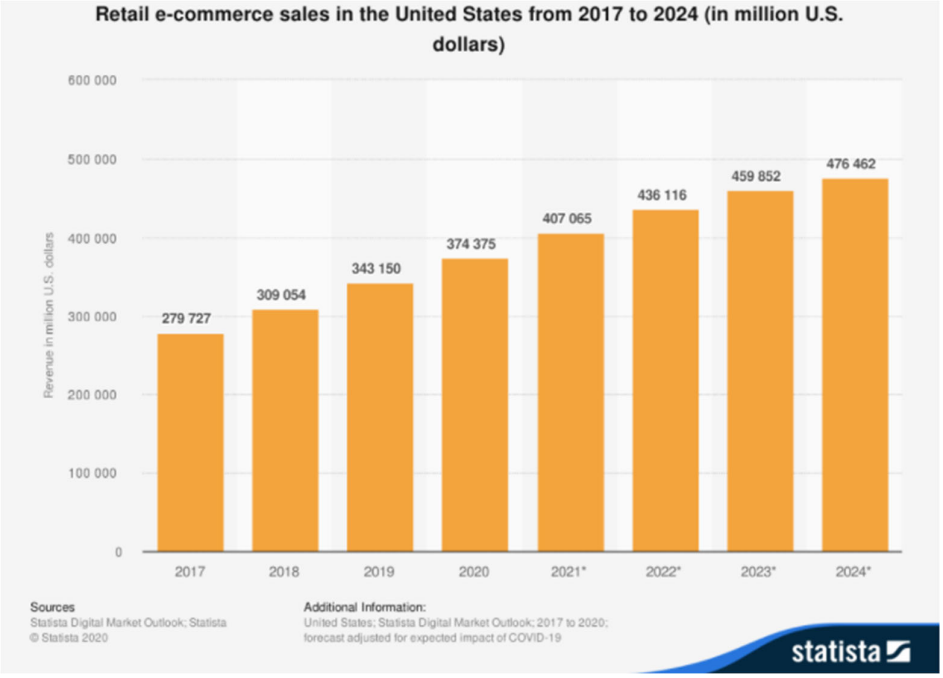


Figure 1. Ventes de détail en ligne aux États-Unis [11]

2.1. Catégories de commerce électronique

Au total, les catégories du commerce électronique sont des réseaux d'activités qui ont une procédure et une action spécifiques en fonction des participants impliqués. Par participants, on entend les entreprises, les utilisateurs finaux et les environnements légaux dans lesquels ils sont inclus et qui sont définis par les gouvernements des pays respectifs. Ces catégories sont les suivantes :

1. De l'entreprise au consommateur (B2C)
2. De l'entreprise à l'entreprise (B2B)
3. De l'entreprise au gouvernement (B2G)
4. Du gouvernement au gouvernement (G2)
5. Du consommateur au consommateur (C2C)

En fonction du type de consommateur, nous pouvons parler de 3 catégories d'entreprises de commerce électronique [1][2][4] :

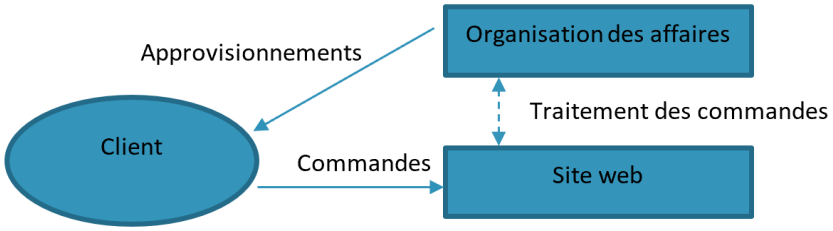
- ***B2C (De l'entreprise au consommateur)***

Étant l'un des modèles de commerce électronique les plus populaires, les entreprises B2C se concentrent sur les transactions qui sont effectuées entre l'entreprise et les utilisateurs finaux. Par

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

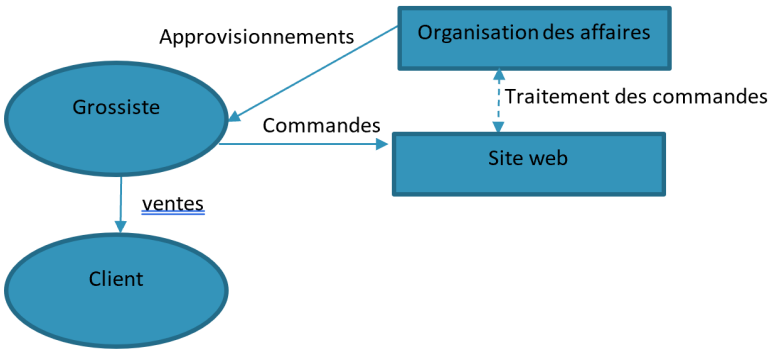
Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

exemple, une entreprise qui vend des vêtements sur sa boutique en ligne à des clients qui sont des utilisateurs finaux est une entreprise B2C [1].



- ***B2B (De l'entreprise à l'entreprise)***

Le commerce électronique interentreprises (B2B) englobe les transactions entre entreprises et non entre une entreprise et des consommateurs qui sont des utilisateurs finaux. Les ventes en ligne réalisées entre un fabricant (organisation commerciale) et un détaillant (grossiste) sont considérées comme un type de commerce électronique B2B [2]. Dans la plupart des environnements de commerce électronique B2B, l'accès à la boutique en ligne nécessite une ouverture de session. La boutique en ligne B2B contient généralement des prix spécifiques au client, des assortiments spécifiques au client et des remises spécifiques au client.



- ***B2G (De l'entreprise au gouvernement)***

Le B2G est la fourniture de biens et/ou de services aux agences gouvernementales aux niveaux fédéral, étatique et local. Par exemple, une entreprise qui vend des systèmes de support informatique à une municipalité est considérée comme une entreprise BG2 [4]. Les gouvernements utilisent les sites web fournis pour commercer et échanger des informations avec diverses organisations commerciales. Ces sites sont accrédités par le gouvernement et permettent aux entreprises de soumettre des formulaires de demande au gouvernement.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3. Commerce électronique B2B

Le commerce électronique interentreprises comprend toutes les activités de transactions interentreprises [9]. Les transactions commerciales dans le processus B2B se font entre un fabricant et un grossiste, ou entre un grossiste et un détaillant, ou un fabricant et un fournisseur, etc. Le commerce électronique interentreprises est également utilisé dans le contexte de la communication et de la collaboration.

3.1. Avantages du commerce électronique interentreprises B2B

Les activités déjà existantes entre les entreprises ont tourné en rond [10] :

- Inventaire
- Demande des clients
- Mise sur le marché des produits
- Traitement de la paperasserie
- Réaliser des achats efficaces
- Fournitures

B2B Le commerce électronique est venu améliorer la gestion des stocks en la rendant plus rapide et plus efficace :

- La gestion des stocks en la rendant plus rapide,
- La demande des clients en l'ajustant plus rapidement et plus efficacement.
- Le placement des produits sur le marché est plus rapide.
- La réduction de la charge de la paperasserie, et donc de son coût
- Gérer les achats difficiles, comme l'approvisionnement international et auprès de plusieurs fournisseurs.
- De ce fait, le coût des fournitures diminue et les entreprises obtiennent des prix bas.

3.2. Modèles B2B d'e-commerce

Les entreprises utilisent de nombreux moyens pour mettre en œuvre le commerce électronique, ce qui leur procure de nombreux avantages. Cependant, le système évolue rapidement et les entreprises

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

trouvent de plus en plus de moyens de réaliser leurs activités, avec un changement constant des processus. Les modèles qui commencent à apparaître sont pour l'instant :

1. Modèle basé sur les transactions

Les entreprises effectuent des transactions les unes avec les autres, ainsi qu'en interne. Les facteurs clés de ce modèle qui le maintiennent en vie sont les outils utilisés, les techniques et l'infrastructure.

2. Modèle basé sur les processus

Il s'agit des activités permettant une collaboration efficiente et efficace entre deux ou plusieurs entreprises. Ce modèle suggère que tous les participants partagent des pratiques communes, tant en interne qu'en externe.

3. Modèle de relation stratégique

Il s'agit de l'établissement d'un partenariat stratégique entre les entreprises impliquées dans les processus respectifs. Il doit y avoir un lien entre les entreprises pour que la collaboration se développe. Le suivi des ventes, les calendriers de production communs, la cogestion des stocks et les échanges techniques sont les garants d'une collaboration efficace.

4. E-commerce B2C

La numérisation du modèle B2C est illustrée ci-dessus dans la figure 2 . Les entreprises et les consommateurs ont effectué des transactions entre eux depuis le début des échanges et des ventes. Le commerce électronique B2C comporte des éléments similaires au modèle B2C catholique, mais avec l'ajout de processus numérisés.

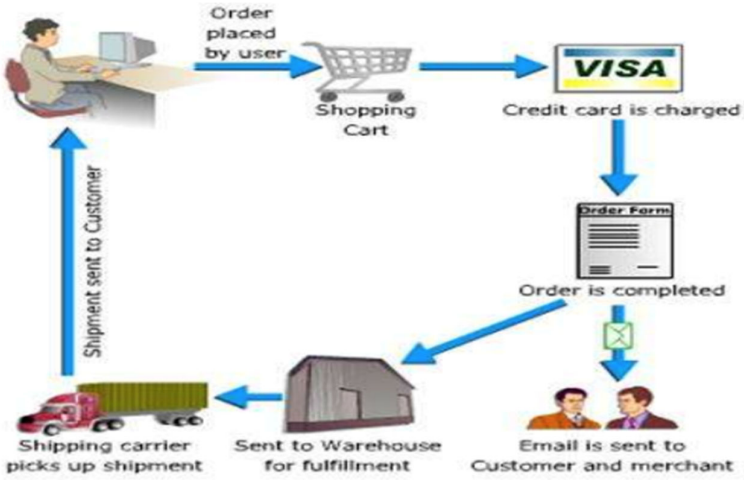


Figure 2. B2C flux du commerce électronique [12]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

4.1. Les éléments de B2C

Le flux B2C commence par la recherche en ligne du client et l'achat d'un article ou d'un service. Le placement de la commande, l'achèvement du panier d'achat, la demande de paiement du client, le traitement du paiement, l'achèvement de la commande, la communication et l'opération de la commande, l'inventaire et l'expédition de la commande, définissent la gestion des activités B2C [10].

1. Catalogues :

Lorsque le client effectue une recherche en ligne sur une plateforme de magasin électronique, l'entreprise doit placer les produits en conséquence sur les pages web et les rendre facilement accessibles et utilisables par le client. Il s'agit d'une opération de base dans le commerce électronique qui servira de base aux étapes suivantes du flux B2C, à savoir si le client deviendra un consommateur de l'entreprise.

2. Planification et génération des commandes

Rendre les processus fluides et faciles, tout en étant efficaces et réussis pour le flux B2C. Il contrôle l'ensemble de la commande du produit depuis le moment où elle est passée jusqu'à son traitement, sa validation, son envoi et/ou son annulation.

3. Fixation des prix

Comme mentionné précédemment dans la section sur le marketing mix, la fixation du prix d'un produit résulte de l'estimation des coûts impliqués dans la production et la promotion du produit. La fixation du prix combine généralement les besoins du client et les capacités de l'entreprise. Le prix d'un produit, du point de vue du consommateur, reflète la compréhension de la valeur du produit/service, tandis que du point de vue de l'entreprise, il s'agit de couvrir les coûts et de faire des bénéfices en même temps.

4. Reçu/facture et comptabilité

Après avoir effectué le paiement, le consommateur reçoit le reçu ou la facture (dans le modèle B2B) comme preuve de paiement. Celle-ci est finalement ajoutée dans les "livres" comptables de l'entreprise.

5. Sélection de la commande

Le consommateur va choisir plusieurs produits qui seront ajoutés dans une commande, en additionnant le montant total du paiement (où le reçu de commande fixe les prix). Le consommateur effectuera une sélection par le biais de la plateforme fournie par la boutique en ligne et effectuera la sélection finale.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

6. Programmation et livraison de la commande

L'entreprise doit fixer et faire connaître au consommateur le délai nécessaire pour que la commande parvienne à l'utilisateur final. L'exécution de la commande est achevée lorsque l'entreprise classe les commandes par ordre de priorité et les place dans une séquence opérationnelle réelle pour qu'elles soient transportées et livrées.

5. Les moteurs du commerce électronique

Il existe au moins trois moteurs principaux qui améliorent les valeurs économiques du commerce électronique - le marketing, l'interaction et la communication générale avec l'utilisateur final, et la technologie - et qui sont le moteur économique, le moteur du marché et le moteur technologique [6].

- Moteur économique

Les avantages de l'efficacité économique sont clairement l'un des plus évidents. La réduction des coûts de communication, des transactions électroniques plus rapides et plus économiques avec les fournisseurs, une infrastructure technologique à faible coût, des coûts de publicité réduits sont quelques-uns des facteurs qui renforcent les circonstances économiques que l'entreprise crée pour elle-même.

- Moteur du marché

De nos jours, et avec la croissance technologique de la dernière décennie en matière de commerce électronique, les entreprises sont encouragées à utiliser de plus en plus le commerce électronique dans les campagnes de marketing et de publicité qu'elles conçoivent afin d'attirer et de se développer sur le marché international dans le but de le conquérir. Les entreprises ont réalisé que grâce à l'internet, il est devenu beaucoup plus facile de cibler leurs consommateurs potentiels en ayant accès à des informations détaillées sur le profil des utilisateurs finaux, que ce soit par le biais des médias sociaux ou des achats en ligne.

- Le moteur de la technologie

S'il n'y avait pas eu de technologie, le concept de commerce électronique n'aurait jamais existé. Le développement de la technologie fournie pour donner accès à l'internet, tant aux entreprises qu'aux consommateurs, est un facteur clé de la croissance du commerce en ligne et du commerce électronique. Les progrès technologiques et la numérisation d'un flux d'actions pour la consommation les ont tous réunis sur une seule plateforme. Cette démarche a rendu la promotion, la distribution, les ventes et les achats, ainsi que la livraison plus efficaces, plus rapides, plus faciles et plus économiques.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

6. Évaluation du commerce électronique mesurée en termes de convivialité et d'accessibilité

Le commerce électronique est essentiellement lié à la technologie, au World Wide Web, à l'infrastructure, et tous ces éléments sont inclus dans les concepts d'interaction homme-machine. La facilité d'utilisation et l'accessibilité sont les deux facteurs clés qui garantissent l'efficacité et la satisfaction des utilisateurs finaux du système. Dans le cas présent, les utilisateurs finaux du système sont les consommateurs qui utilisent les plateformes en ligne pour effectuer des achats et consommer des biens, interagir avec les vendeurs comme dans un magasin physique et recevoir des publicités.

Du point de vue de l'utilisabilité, et en examinant l'utilisateur final, on se rend compte que ce dernier ne veut pas apprendre à utiliser un site web lorsqu'il fait des achats en ligne. Si le site web fourni par l'entreprise est convivial et facilement accessible et compréhensible. Les éléments concrets qui peuvent guider l'utilisateur tout au long de la surface de l'e-shop sont importants pour améliorer la convivialité. Un contenu lisible, des actions promotionnelles attrayantes, un marketing ciblé et des interfaces conviviales pour le processus de transaction pendant la phase d'achat, sont également inclus dans l'importance de la mesure de la convivialité.

La partie accessibilité, quant à elle, est une variable dont le nombre définit la capacité d'un produit ou d'un service à créer un large éventail de consommateurs aux capacités différentes. Dans le cas du Web, l'accessibilité, qui mesure le point de vue du consommateur, a trait à la facilité d'accès aux informations et au matériel de communication provenant du vendeur [7].

7. Le commerce électronique : Leçons pour la crise du COVID-19

Pendant la pandémie mondiale, la part du commerce électronique dans le commerce de détail mondial a considérablement augmenté [5]. Comme un grand nombre de pays étaient sous confinement, les entreprises et les consommateurs ont dû s'étendre davantage dans le monde numérique pour vendre et acheter des produits/services. Les entreprises ont dû créer une image forte dans l'environnement du commerce électronique afin de maintenir leurs ventes, tandis que les consommateurs ont surtout fait des achats en ligne en raison de la distanciation sociale. En conséquence, la part du commerce électronique dans le commerce de détail mondial est passée de 14 % en 2019 à près de 17 % en 2020 [5].

Cependant, tous les vendeurs en ligne et toutes les catégories de produits n'ont pas bénéficié de l'essor du commerce électronique. Les catégories qui en ont le plus profité sont les articles médicaux et d'autoprotection (masques, gants, par exemple), l'épicerie, les services alimentaires, la nourriture et les boissons, tandis que la demande de services de voyage, de sport et de vêtements formels a considérablement diminué [6]. Les observations ci-dessus sont confirmées dans le tableau ci-dessous

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[6]. Ces faits soulignent l'importance pour les entreprises de développer leurs activités en ligne afin de réussir dans le monde compétitif du commerce électronique.

Table 1: Online retail sales, selected economies, 2018-2020

Economy	Online retail sales ($ billions)			Retail sales ($ billions)			Online share (% of retail sales)		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Australia	13.5	14.4	22.9	239	229	242	5.6	6.3	9.4
Canada	13.9	16.5	28.1	467	462	452	3.0	3.6	6.2
China	1,060.4	1,233.6	1,414.3	5,755	5,957	5,681	18.4	20.7	24.9
Korea (Rep.)	76.8	84.3	104.4	423	406	403	18.2	20.8	25.9
Singapore	1.6	1.9	3.2	34	32	27	4.7	5.9	11.7
United Kingdom	84.0	89.0	130.6	565	564	560	14.9	15.8	23.3
United States	519.6	598.0	791.7	5,269	5,452	5,638	9.9	11.0	14.0
Economies above	**1,770**	**2,038**	**2,495**	**12,752**	**13,102**	**13,003**	**14**	**16**	**19**

Source | UNCTAD, based on national statistics offices.

Figure 3. Ventes au détail internationales, 2018-2020 [6]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] BigCommerce. 2021. *Ecommerce 101 + History of Online Shopping (2021)*. [Online] Disponible sur : https://www.bigcommerce.com/articles/ecommerce/ [Consulté : 2 Juin 2021].

[2] Influencer Marketing Hub. 2021. *eCommerce 101: The Essentials of eCommerce*. [Online] Disponible sur : https://influencermarketinghub.com/ecommerce-101/ [Consulté : 2 Juin 2021].

[3] Investopedia. 2021. *Business to Government (B2G) Definition*. [Online] Disponible sur : https://www.investopedia.com/terms/b/business-to-government.asp [Consulté : 2 Juin 2021].

[4] Unctad.org. 2021. *How COVID-19 triggered the digital and e-commerce turning point | UNCTAD*. [Online] Disponible sur : https://unctad.org/news/how-covid-19-triggered-digital-and-e-commerce-turning-point [Consulté : 2 Juin 2021].

[5] OECD. 2021. *E-commerce in the time of COVID-19*. [Online] Disponible sur : https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/e-commerce-in-the-time-of-covid-19-3a2b78e8/ [Consulté : 2 Juin 2021].

[6] Paradkar, S. S. (2014). ecommerce in the Customer Empowerment Era. *Prieiga per internetą:* [Online] Disponible sur : *https://www. bptrends. com/ecommerce-in-the-customer-empowerment-era* [Consulté : 2 Juin 2021].

[7] R. Gonçalves, et al., "Evaluation of e-commerce websites accessibility and usability: an e-commerce platform analysis with the inclusion of blind users", *Universal Access in the Information Society*, 17(3), pp.567-583, 2017. [Online] Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/318223028_Evaluation_of_e-commerce_websites_accessibility_and_usability_an_e-commerce_platform_analysis_with_the_inclusion_of_blind_users [Consulté : 16 Juin 2021].

[8] Mata, F., & Quesada, A. (2014). Web 2.0, Social Networks and E-commerce as Marketing Tools. *Journal Of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, *9*(1), 11-12.

[9] D. Lucking-Reiley, & D. Spulber, "Business-to-Business Electronic Commerce", *Journal of Economic Perspectives*, *15*(1), 55-68. 2001.

[10]K. Vinod, R. Gagandeep, Business to Business (B2b) and Business to Consumer (B2c) Management, International Journal of Computers & Technology, Volume 3 No. 3, Nov-Dec, 2012. [Online] Disponible sur :

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.299.8382&rep=rep1&type=pdf [Consulté : Juin 24, 2021]

[11] 2021. [Online] Disponible sur : <https://www.vendhq.com/blog/start-selling-online/> [Consulté : 27 Septembre 2021].

[12] Citeseerx.ist.psu.edu. 2021. [Online] Disponible sur : http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.299.8382&rep=rep1&type=pdf [Consulté : 27 Septembre 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Lequel des éléments suivants n'est pas considéré comme un moteur de commerce électronique ?

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) Facteur environnemental
b) Facteur technologique
c) Facteur de marché

Question 2 : Un grossiste vend les produits aux consommateurs en :
Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) D'entreprise à entreprise (B2B)
b) D'entreprise à consommateur (B2C)
c) Les deux réponses ci-dessus

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Unité 9 Coopération et meilleures pratiques

Traduit par :
Wissem Cheikhrouhou, Mohamed Koubaa, Noura Rmili (CRNS)

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Sommaire

Sommaire 556
Cours 9.1 Introduction aux clusters 558
1. Introduction 558
2. Qu'est-ce qu'un cluster ? 559
2.1. Définition classique du cluster 559
2.2. Les clusters dans la modernité 560
3. Politiques des clusters 562
3.1. Cartographie du processus de la politique des clusters 562
4. La performance des clusters en Europe 563
Références 567
Questions pour l'évaluation du cours 568
Cours 9.2 Réseautage, coopération et culture de start-up 569
1. Introduction 569
1.1. Mise en réseau de l'innovation et fertilisation croisée 569
1.2. Coopération par l'innovation ouverte et les alliances stratégiques 571
1.3. Culture de Start-up 574
2. Exemples de bonnes pratiques : Le réseau CONTEXT 577
3. Conclusions 578
Références 579
Questions pour l'évaluation du cours 581
Cours 9.3 Initiatives gouvernementales et européennes 582
1. Introduction à la politique industrielle de l'UE 582
1.1. Politique et Observatoire EU des clusters et des mutations industrielles 582
1.2. Performance des clusters dans l'UE [3] 584
2. Projets de coopération 586
2.1. Projects EU-Méditerranée 586
2.2. Erasmus+ projets [*6*] 587
2.3. ENI CBC Med [*7*] 587

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3. Exemples de projets 587
3.1. Projet Wintex [*8*] 588
3.2. Projet Innolea [*9*] 588
3.3. Projet Fostex [*10*] 588
4. Conclusions 589
Références 590
Questions pour l'évaluation du cours 591
Cours 9.4 Histoires de réussite et meilleures pratiques 592
1. Le cluster comme outil de coopération 592
2. L'AEI TÈXTILS, une réussite de cluster 593
2.1. Introduction à AEI TÈXTILS 593
2.2. Structure du cluster 593
2.3. Comment dynamiser un secteur ? 595
2.4. Meilleures pratiques mises en œuvre 598
Références 601
Questions pour l'évaluation du cours 602

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 9.1 Introduction aux clusters

Pau Jarne,
AEI TÈXTILS

1. Introduction

La mondialisation est un processus économique qui a intégré les différentes économies et systèmes de production nationaux dans l'économie de marché mondiale. Cette nouvelle réalité a ouvert de nouveaux marchés et de nouvelles opportunités aux entreprises, mais elle a également signifié l'entrée de nouveaux concurrents au niveau mondial.

Les effets positifs de ce nouveau système issu de la mondialisation sont clairs : ouverture des entreprises à de nouveaux marchés, délocalisation des processus de production pour réduire les coûts, acquisition de ressources (matérielles ou humaines) dans d'autres parties du monde, etc.

Cependant, il a également eu plusieurs effets négatifs qui ont principalement affecté les pays développés, qui ont vu leur compétitivité diminuée par des coûts de production plus élevés, par rapport à d'autres concurrents situés dans des pays en développement [1].

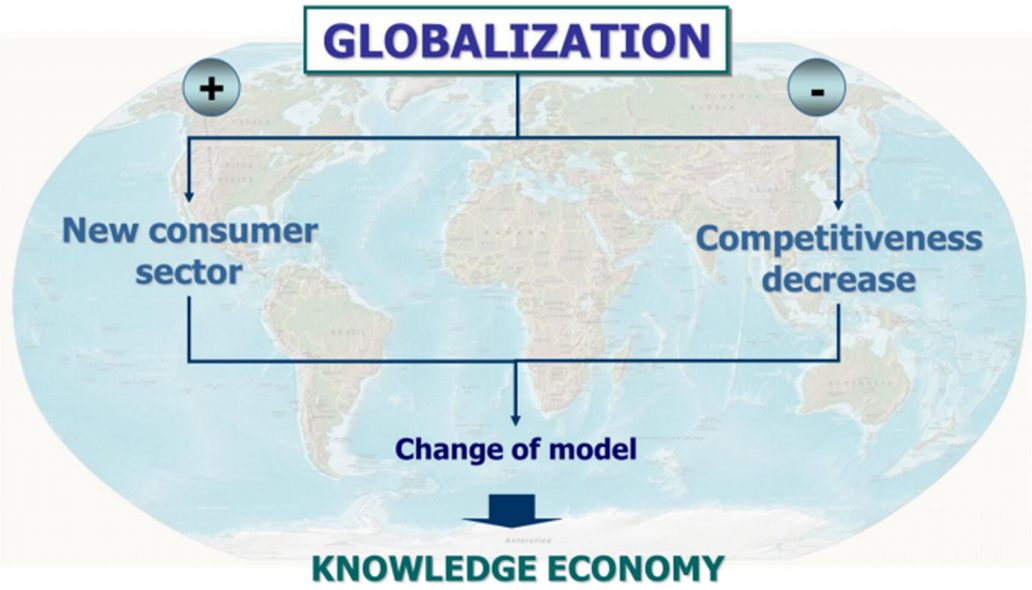


Figure 1 : Les effets de la globalisation [1]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Ce nouveau scénario a contraint les économies avancées et leur tissu commercial à adopter des changements dans leurs modèles pour contrer ces inconvénients. Incapables de rivaliser dans la course à la réduction des coûts de production, elles ont opté pour d'autres voies axées sur l'amélioration de la productivité et de la valeur ajoutée. Pour ce faire, il est nécessaire d'analyser les capacités distinctives des entreprises qui peuvent donner lieu à des avantages concurrentiels. Selon John Kay, professeur à la London Business School, ces compétences qui peuvent devenir des avantages concurrentiels peuvent être classées comme suit :

Table 1 : Les avantages concurrentiels des entreprises selon John kay

Les avantages concurrentiels
La structure et les compétences de gestion de l'entreprise
Les attraits stratégiques de l'entreprise
La marque ou la crédibilité de l'entreprise
La capacité d'innovation

2. Qu'est-ce qu'un cluster ?

2.1. Définition classique du cluster

Le cluster est un terme popularisé par l'économiste Michael Porter en 1990 dans son ouvrage The Competitive Advantage of Nations [2], qui le définit comme suit : "Une concentration d'entreprises apparentées, dans une zone géographique relativement définie, qui partagent des défis stratégiques, des fournisseurs spécialisés, des sociétés de services et des institutions associées".

Selon Porter, un cluster présente une série d'avantages concurrentiels tant pour les entreprises membres que pour le territoire lui-même, qui peuvent être classés comme suit :

Table 2 : Pôle Avantages concurrentiels selon Michael Porter

Augmenter la productivité des entreprises
- Fournir un meilleur accès aux facteurs de production et au personnel spécialisé.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Stimuler les connaissances et encourager le savoir-faire collectif.
- Faciliter la présence de fournisseurs spécialisés.
- Favoriser l'accès à l'information et à la technologie.

Améliorer la capacité d'innovation
- Stimuler l'innovation par la proximité des concurrents. - Faciliter la connaissance des nouvelles technologies grâce à la circulation rapide de l'information. - Rechercher des opportunités et des stratégies d'innovation pour répondre aux besoins des clients.

Stimuler la création de nouvelles entreprises
- Découvrir des opportunités commerciales. - Réduire les barrières à l'entrée, faciliter la circulation de l'information et encourager le dynamisme et l'esprit d'entreprise. - Faciliter la connexion entre les entreprises, les fournisseurs et les autres institutions de soutien.

2.2. Les clusters dans la modernité

Néanmoins, les clusters ont évolué et se sont adaptés aux temps modernes de la même manière que l'économie et le marché. Ainsi, sa définition doit être reformulée.

Selon la Commission européenne, par le département Marché intérieur, industrie, entrepreneuriat et PME [3], les clusters industriels sont : " des groupes d'entreprises spécialisées, souvent des PME, et d'autres acteurs de soutien connexes sur un site qui coopèrent étroitement. Ensemble, les PME peuvent être plus innovantes, créer plus d'emplois et déposer plus de marques et de brevets internationaux que seules."

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Contrairement à la définition du cluster de Porter, cette définition ne comprend pas les clusters uniquement comme un rassemblement d'entreprises, mais aussi tous les acteurs qui, directement ou indirectement, jouent un rôle dans les activités du secteur industriel. Par conséquent, les clusters sont la concentration d'activités économiques dans des groupes d'industries connexes dans un lieu spécifique qui sont reliées par des liens multiples.

Outre la définition, les clusters partagent certains principes communs :

- **La masse critique est importante :** Plus les entreprises sont nombreuses à s'engager dans une collaboration, plus il est probable que des niveaux élevés de productivité et d'innovation seront atteints. Cela est dû à la pression concurrentielle entre les acteurs du cluster et à la spécialisation qu'un grand marché local peut apporter aux entreprises.

- **Les industries connexes sont importantes** : Pour réussir, les entreprises doivent s'engager auprès de multiples parties prenantes : Fournisseurs, prestataires de services, spécialistes du secteur et autres partenaires. Les clusters parviennent à refléter cette nature de plus en plus intersectorielle des chaînes de valeur et des systèmes d'innovation et à aider ces acteurs à générer de la valeur les uns à partir des autres.

- **La localisation est importante :** Dans une économie mondiale, les entreprises s'engagent avec des parties prenantes du monde entier et donnent lieu à des chaînes de valeur mondiales. Toutefois, les partenaires régionaux jouent un rôle unique, car le type d'interaction que les entreprises peuvent réaliser avec des partenaires locaux est beaucoup plus riche et bénéfique pour l'économie nationale.

- **Les liens sont importants :** Les entreprises peuvent bénéficier de la création d'un environnement qui favorise une collaboration active. Pour que cette collaboration réussisse, il faut une forte implication du gouvernement et d'autres institutions "d'ancrage" ayant suffisamment de crédibilité et de pouvoir pour mobiliser les entreprises et promouvoir une dynamique de partenariat plutôt que de concurrence.

- **Dans la grande majorité des cas, les clusters ne sont pas créés :** Les clusters fusionnent parce qu'il s'agit d'un processus d'accumulation où différents endroits offrent différents types d'opportunités pour que des entreprises spécifiques investissent, réussissent et se développent. La plupart du temps, le succès du cluster dépend de sa capacité à créer des qualités spécifiques d'un environnement commercial qui confère à un lieu un avantage unique et durable. Un exemple en est la Silicon Valley, une région où diverses entreprises de l'industrie technologique et de l'information se réunissent pour trouver un terrain d'entente dans leur développement commercial.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

3. Politiques des clusters

Les clusters modernes travaillent avec plusieurs politiques et instruments pour stimuler le développement économique. Une partie de leur travail consiste à mettre en œuvre des politiques dans des domaines tels que l'innovation, l'internationalisation, le soutien aux PME, le développement de la main-d'œuvre, le conseil et l'attraction des investissements. L'objectif de ces politiques est d'accroître la compétitivité des entreprises et du marché local. Pour y parvenir, les politiques doivent se concentrer sur les deux bases, la productivité et l'innovation, en tant que moteurs clés pour soutenir cette ambition.

Une stratégie à court terme de cluster, comme par exemple la réduction des coûts de production ou la création d'emplois, n'est pas suffisante. Il faut une stratégie qui tienne compte des capacités des entreprises locales et qui définisse des politiques adaptées à l'économie locale et aux entreprises concernées. Pour y parvenir, il est important d'identifier les possibilités d'entrepreneuriat et d'innovation d'une région et son potentiel à en tirer profit.

En outre, l'économie moderne se caractérise par des liens multiples entre les activités économiques. Les clusters sont efficaces pour repérer les liens les plus forts entre les industries et décider où appliquer efficacement les politiques.

Enfin, il est important de noter le besoin de collaboration entre le secteur privé et le secteur public et les nombreuses institutions pertinentes qui existent dans les deux secteurs pour rendre les politiques de développement économique modernes réalisables. Les clusters sont des points focaux importants pour le dialogue public-privé, et il est de leur intérêt de maintenir ce niveau de partenariat et de terrain d'entente.

3.1. Cartographie du processus de la politique des clusters

Une approche du développement économique basée sur les clusters utilise un processus qui peut être décrit comme suit : partir de l'analyse, utiliser les données pour élaborer une stratégie qui sera ensuite mise en œuvre, puis revenir à l'analyse, en refermant le cycle.

- L'analyse des clusters, ou cartographie, est un aspect essentiel car elle fournit une analyse factuelle riche de l'économie régionale, basée sur sa compétitivité et la concentration des activités économiques. Elle permet également d'évaluer l'impact des activités et des réalisations dans des domaines spécifique.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

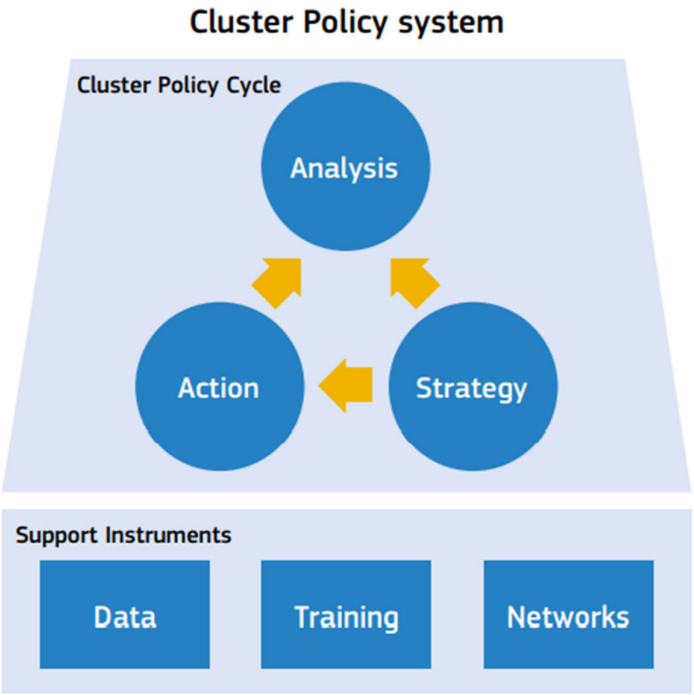


Figure 2 : Cycle de la politique des clusters et instruments de soutien [3]

- Une stratégie économique régionale est nécessaire pour définir la feuille de route des activités et des politiques qui vont être mises en œuvre, et celles qui seront prioritaires.

- L'action comprendra la mise en œuvre d'un ensemble de mesures qui viseront à améliorer l'environnement général des entreprises et des autres acteurs du cluster en se concentrant sur la compétitivité, l'innovation et la productivité d'une région spécifique et de son industrie.

Le cycle de mise en œuvre de la politique des clusters est soutenu par un ensemble d'instruments qui contribuent à optimiser l'efficacité globale du processus. Ces instruments sont les suivants : données, formation et mise en réseau.

4. La performance des clusters en Europe

En 2020, la Commission européenne a réalisé un rapport dans le cadre d'un contrat de service [4] pour analyser la performance des clusters à travers 51 industries exportatrices en Europe. Le rapport analyse les différents clusters sur la base de divers paramètres : Taille, spécialisation, productivité, performance des PME et leaders de l'innovation.
Il classe ensuite les clusters en trois types en fonction de leurs performances :

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Les clusters très performants : Ceux qui se sont bien classés selon les paramètres précédents.
- Clusters moyennement performants : Ceux qui ont obtenu un classement moyen sur les paramètres précédents.
- Clusters à performance de base : Ceux qui ont obtenu un classement faible sur les paramètres précédents.

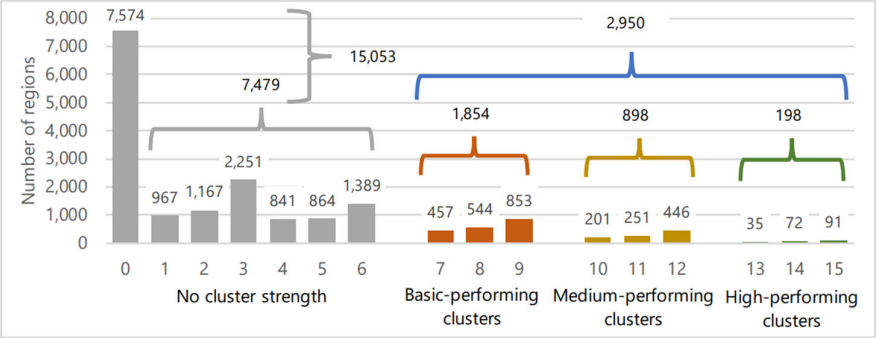


Figure 3 : Clusters forts catégorisés. Source [4]

Sur les 2 950 clusters industriels régionaux identifiés à travers l'Europe, 198 ont été classés comme clusters très performants, 898 comme clusters moyennement performants et 1 854 comme clusters peu performants. De plus, 15 053 zones régionales n'ayant pas ou peu de force de cluster ont également été identifiées.

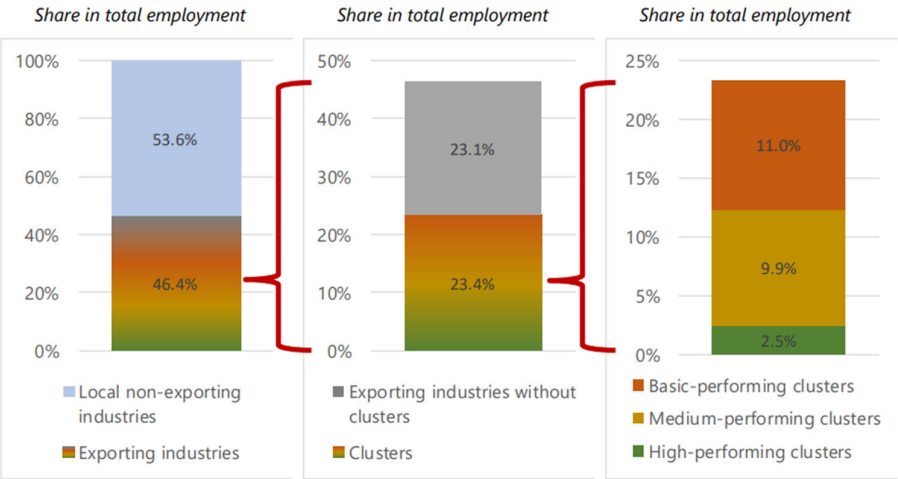


Figure 4 : Parts d'emploi (2017) : Industries et clusters exportateurs [4]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Ces 2 950 clusters industriels régionaux représentaient presque un emploi sur quatre en Europe (23,4% de l'emploi total) et environ la moitié de l'emploi dans les industries exportatrices (50,3%). Quant aux clusters de base, de moyenne et de haute performance, ils représentaient respectivement 11%, 9,9% et 2,5% de l'emploi total.

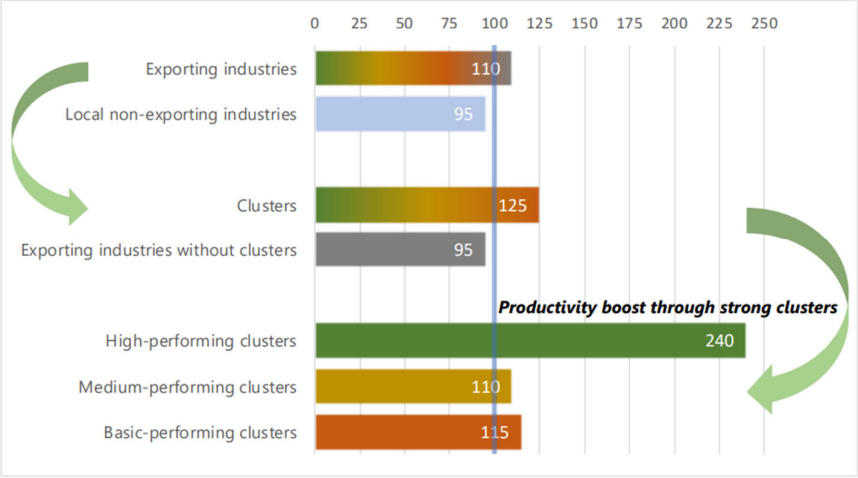


Figure 5 : Score de l'indice de force et de productivité des clusters (2017). La ligne bleue indique la productivité industrielle moyenne (100%) [4]

La productivité des 51 industries exportatrices analysées dans le rapport est supérieure de 10% à celle de l'ensemble des industries et de 15% à celle des industries locales non exportatrices. Plus important encore, la productivité des grappes industrielles exportatrices est de 25% supérieure à celle de l'ensemble des industries et de 30% supérieure à celle des autres industries exportatrices sans grappe.

Si nous analysons et séparons par type de performance des clusters, les clusters hautement performants sont 145% plus productifs que ceux qui ne sont pas affiliés ou ne participent pas à un cluster, et même les clusters les plus basiques sont plus productifs (20%) que les autres industries exportatrices sans clusters.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

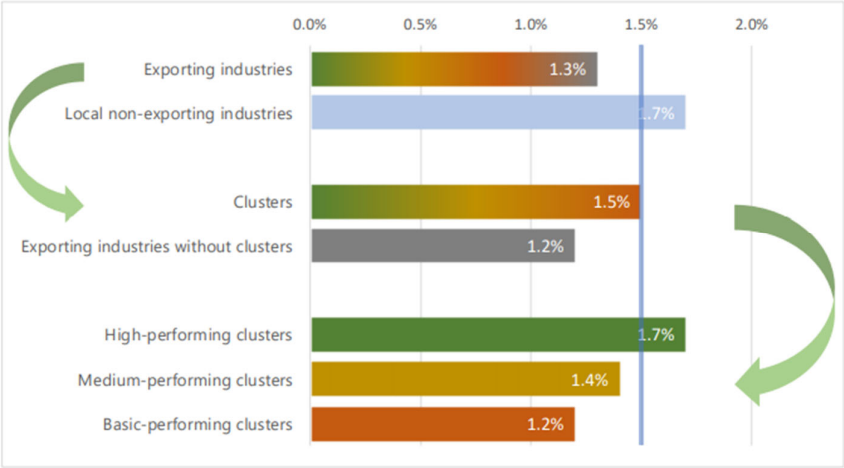


Figure 6: Taux de croissance annuel moyen de l'emploi (2014 à 2017). La ligne bleue indique la croissance annuelle moyenne pour toutes les industries [4]

La croissance de l'emploi dans les clusters industriels régionaux est supérieure à celle des industries exportatrices sans clusters. La croissance de l'emploi dans les industries exportatrices est inférieure à la moyenne, mais elle est proche de la moyenne dans ces clusters industriels régionaux (1,5%). Dans les clusters les plus performants, la croissance de l'emploi est supérieure à la moyenne.

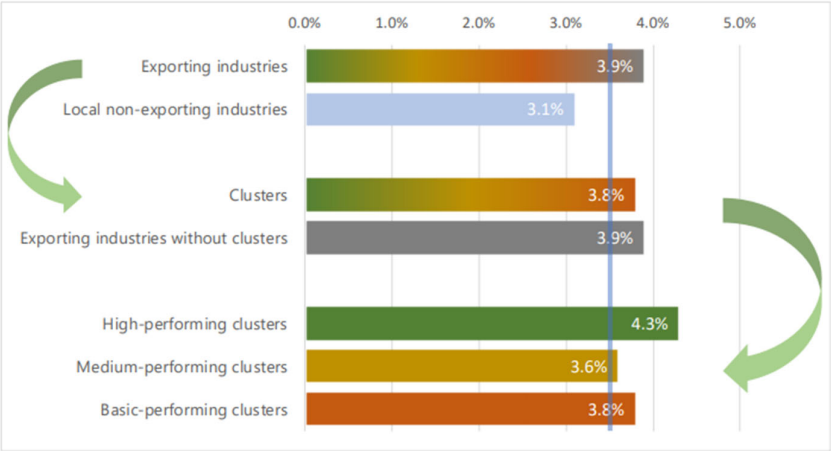


Figure 7 : Taux de croissance annuel moyen de la productivité (2014 à 2017). La ligne bleue indique la croissance annuelle moyenne [4]

La croissance de la productivité était plus élevée dans les industries exportatrices que dans les industries locales non exportatrices. Cependant, les industries exportatrices sans clusters ont obtenu de meilleurs résultats en matière de croissance de la productivité que celles avec clusters. Les clusters

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

les plus performants affichent la plus forte augmentation de la productivité, suivis par les clusters les moins performants et les clusters moyennement performants.

La productivité est plus élevée dans les industries avec des clusters que dans celles qui n'en ont pas. Le fait que les clusters les plus performants obtiennent un score plus élevé pour tous les paramètres est dû au fait qu'ils sont plus efficaces ou disposent de plus de ressources pour mettre en œuvre un système de clusters dans leur structure. Cependant, la moitié des industries exportatrices n'ont toujours pas de capacités de cluster, ce qui peut supposer un préjudice dans leur productivité et leur efficacité. Travailler pour inclure ces entreprises dans une structure de cluster fait partie de la stratégie visant à améliorer les avantages concurrentiels des industries sur le marché mondial.

Références

[1] A. Detrell, "Los modelos europeos de gestión de la innovación". ***Revista de Química Textil***, no. 192, pp. 24, 2009.

[2] M. E. Porter, *The Competitive Advantage of Nations*, Simon & Schuster, 1990.

[3] E. Biénkowska and C. Cretu, *Smart Guide to Cluster Policy.* Belgium: European Union, 2016.

[4] H. Hollanders and I. Merkelbach, *European Panorama of Clusters and Industrial Change*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Selon la cartographie du processus de la politique des clusters, quelles sont les phases du cycle et dans quel ordre **?**

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) Stratégie, action, analyse

b) Analyse, Stratégie, Action

c) Analyse, stratégie, rapport

Question 2 : Les politiques modernes de clusters sont axées sur deux bases principales :

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) Productivité et innovation

b) Économie et technologie

c) Productivité et enquête

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 9.2 Réseautage, coopération et culture de start-up

Miguel Vaz,
AEI Tèxtils

1. Introduction

Avec la concurrence mondiale croissante et la pression pour développer et lancer rapidement de nouveaux produits et services et/ou pour améliorer leur efficacité opérationnelle, les entreprises s'appuient de plus en plus sur l'innovation collaborative pour maintenir et améliorer leur avantage concurrentiel à long terme.

Les processus d'innovation actuels sont de plus en plus développés en dehors des frontières de l'organisation ou en dehors des industries individuelles. Elles sont aujourd'hui de plus en plus distribuées, impliquant la participation de plusieurs acteurs en réseau [1] aux connaissances et capacités pluridisciplinaires et complémentaires. Par conséquent, l'existence de réseaux d'innovateurs et la fertilisation croisée entre les entreprises, les centres de recherche, les universités et les institutions gouvernementales, entre autres, ont un rôle majeur sur la façon dont les innovations d'aujourd'hui sont développées et commercialisées.

La valeur ajoutée de ces systèmes d'innovation dépend largement de leur capacité à aider les organisations à surmonter les défis auxquels elles sont confrontées, notamment lorsque les projets et initiatives de R&D nécessitent des investissements extraordinaires et que les résultats sont très incertains. Selon Asheim et Isaksen [2], les réseaux et les efforts de collaboration peuvent apporter une véritable valeur ajoutée car « une communication étroite entre les entreprises, les structures socioculturelles et les environnements institutionnels peuvent stimuler l'apprentissage collectif socialement et territorialement intégré et l'innovation continue ».

Les nouvelles entreprises/start-ups adoptent de plus en plus la coopération externe pour s'épanouir dans un monde complexe dominé par une concurrence mondiale féroce. L'agilité organisationnelle et l'engagement envers les pratiques d'innovation ouverte sont devenus stratégiquement pertinents pour les entreprises afin de gérer les changements dynamiques et de favoriser leur performance à long terme.

1.1. Mise en réseau de l'innovation et fertilisation croisée

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Les tendances actuelles de la théorie des systèmes d'innovation démontrent que l'innovation ne repose pas sur une voie linéaire allant de la recherche et de l'invention vers un produit, un service ou un processus commercial. Au lieu de cela, il dépend largement de diverses boucles de rétroaction dans un contexte de relations structurées, de réseaux et d'infrastructures [3]. Et dans un contexte social et économique plus large.

Les innovations clés d'aujourd'hui sont de plus en plus développées par des réseaux basés sur la chaîne de valeur plutôt que par des organisations individuelles. La co-création et l'échange de connaissances d'entités externes à l'entreprise stimulent le développement d'innovations plus intégrées (caractère systémique). Le marché s'intéresse désormais davantage aux « solutions packagées » qu'aux produits uniques ou aux services ponctuels. Ces nouvelles solutions sont développées et produites par des réseaux (d'innovation).

Réseautage d'innovation

Les réseaux d'innovation peuvent être définis comme des ensembles d'alliances entre deux ou plusieurs organisations impliquées de manière interactive dans un processus d'innovation. Empiriquement, ce sont des liens lâches ou contractuels entre deux ou plusieurs entreprises et d'autres organisations et ont un noyau avec des liens faibles et forts entre les membres constituants qui restent des agents indépendants [4]. Par conséquent, le terme « réseau » fait référence à un ensemble de nœuds et de relations qui relient les différents agents d'innovation. Toutes les relations formelles et informelles sont les mécanismes de base par lesquels les économies externes profitent aux organisations locales conduisant à la croissance et à la consolidation d'un groupe d'entreprises innovantes.

Aujourd'hui, les entreprises évoluent dans des environnements technologiques dynamiques et complexes. Ils travaillent de plus en plus par le biais de réseaux et de collaborations transfrontalières pour l'échange de connaissances et la co-création, plutôt que par le biais de la R&D interne. Cela est dû au fait que les initiatives de R&D deviennent plus complexes, que les coûts et les coûts de développement augmentent rapidement, que les cycles de vie des produits diminuent et qu'il existe une concurrence féroce à l'échelle mondiale pour un savoir-faire et des ressources limités [5].

Les réseaux d'innovation comprennent des entreprises, des organismes de recherche et de technologie, des universités, des agences de transfert de technologie et des gouvernements qui travaillent ensemble pour atteindre des objectifs d'innovation communs. De nombreux pays sont conscients de l'importance de ces réseaux pour favoriser la capacité d'innovation, la compétitivité internationale et la création globale de richesse et de croissance économique. Dans des pays comme les États-Unis et le Royaume-Uni, des politiques d'innovation ont été élaborées et mises en œuvre pour allouer des financements et des incitations spécifiques à la R&D à la promotion de réseaux d'innovation multisectoriels.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Pour stimuler, créer, recombiner des connaissances nouvelles et existantes, l'interaction de multiples acteurs est nécessaire. Les nouvelles entreprises basées sur la technologie réussissent mieux lorsqu'elles sont modérément intégrées dans des réseaux, ce qui joue un rôle important dans la cocréation et la propriété des connaissances. Il est de plus en plus évident que le réseautage peut être bénéfique dans n'importe quel domaine [6].

Dans le monde de l'entreprise, l'innovation consiste à explorer de nouvelles possibilités en dehors des pratiques commerciales quotidiennes. Lorsque des connaissances émergent simultanément de deux domaines ou industries distincts ou plus (« fertilisation croisée »), les équipes doivent être prêtes à collaborer, notamment par un échange tacite de connaissances.

Fertilisation croisée

La fertilisation croisée est définie comme une nouvelle combinaison de connaissances, de capacités ou de technologies auparavant distinctes. Ce processus conduit à la création d'une innovation recombinante, avec deux ou plusieurs technologies différentes recombinées pour générer une nouvelle technologie améliorée [7]. Grâce à ce processus, où les technologies s'hybrident, peut conduire à l'amélioration des attributs et des fonctionnalités des produits existants, déclenchant le développement d'innovations radicales. De plus, les innovations radicales/recombinantes sont reconnues pour accélérer les progrès d'une technologie, contribuant à son succès à long terme sur le marché.

Comme mentionné précédemment, le transfert de connaissances complexes sous forme de fertilisation croisée comprend généralement l'échange de connaissances et de compétences entre différents domaines, parfois apparemment sans rapport. Les processus de fertilisation croisée sont généralement liés à ces processus de transfert et d'application des connaissances, d'un secteur de production à un autre.

Dans les régions où les secteurs sont technologiquement adjacents et où il existe un degré élevé de proximité cognitive, des opportunités potentielles peuvent se présenter pour l'apprentissage mutuel, l'échange de connaissances, la co-création et la fertilisation croisée. Cela peut à son tour conduire à une diversification technologique et des produits et à une ramification régionale, où de nouvelles voies industrielles et technologiques émergent des structures existantes. L'émergence de la fertilisation croisée par le biais de collaborations transfrontalières est également un exemple du déploiement de réseaux d'innovation entre entreprises de différentes géographies.

1.2. Coopération par l'innovation ouverte et les alliances stratégiques

Contrairement à la mentalité de secret et de silo des innovateurs précédents, les nouvelles entreprises recherchent / adoptent de nouveaux modèles commerciaux dans lesquels l'approche « innovation ouverte » est répandue, dans le but d'améliorer leur avantage concurrentiel et leur durabilité à long

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

terme. Selon la littérature existante, l'innovation ouverte peut être définie comme "l'utilisation d'entrées et de sorties de connaissances à dessein pour accélérer l'innovation interne et élargir les marchés pour l'utilisation externe de l'innovation" [8]. Concernant cet échange de connaissances, trois voies de flux peuvent être définies (voir Figure 1) : outside-in (inbound), inside-out (outbound) et l'innovation ouverte couplée, qui est une combinaison d'inflows et d'outflows entre les acteurs impliqués dans le processus de l'innovation.

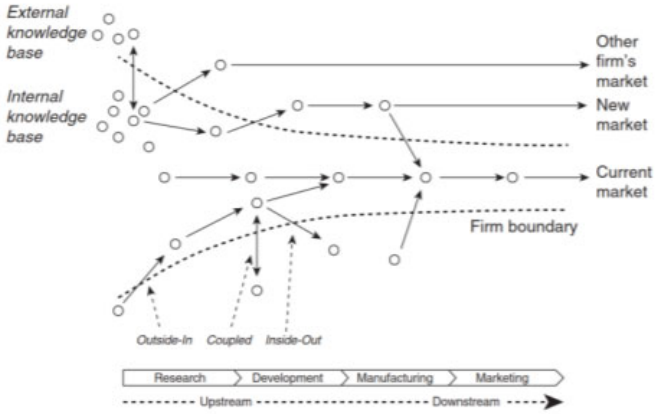


Figure 1. Le modèle de l'innovation ouverte [*8*]

Le paradigme de l'innovation ouverte

Un nombre croissant d'organisations de différents secteurs externalisent leurs processus d'innovation par l'acquisition de ressources et de capacités externes telles que l'intégration, la collaboration, l'in-licensing, l'out-licensing, les alliances stratégiques/coentreprises et d'autres types d'implication des utilisateurs [9]. Le concept d'« innovation ouverte » est utilisé pour décrire ce changement de paradigme de la R&D fermée/interne de nouveaux produits vers un modèle d'innovation ouverte qui combine pleinement les idées, les connaissances et les technologies internes et externes afin de (co-)créer, développer et commercialiser de nouveaux produits et services. Par conséquent, les organisations doivent être agiles pour exploiter les connaissances en dehors de leurs frontières tout en gardant leurs propres connaissances disponibles pour que d'autres puissent les exploiter. De cette façon, ils peuvent bénéficier des idées et des connaissances qu'ils collectent de l'extérieur, tout en profitant du partage de leurs propres idées et connaissances avec des acteurs externes, y compris des concurrents.

Un nombre croissant de start-ups et de PME adoptent le paradigme de l'innovation ouverte. La raison de poursuivre une telle approche repose sur différents avantages potentiels, par exemple : un meilleur accès à un pool de connaissances et d'expertise spécifique, un délai de mise sur le marché réduit, des

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

coûts et des risques réduits [10]. Par conséquent, la capacité des organisations à s'engager dans des collaborations de R&D stables avec des parties prenantes externes (par exemple, des entreprises, des universités, des centres de recherche, des scientifiques et des experts individuels, des fournisseurs, des utilisateurs, etc.) est un moteur majeur pour la mise en œuvre d'activités d'innovation. Ainsi, adopter des modèles d'innovation ouverte implique de redéfinir les frontières de l'organisation, qui doivent devenir plus perméables pour permettre l'échange de connaissances de différents types : connaissances de marché, connaissances technologiques et connaissances managériales.

Alliances stratégiques

Comme nous l'avons souligné précédemment, les organisations recherchent de plus en plus l'acquisition de connaissances et de capacités externes, notamment par le biais d'alliances stratégiques. C'est une pratique de plus en plus pratiquée par les PME.

Selon la littérature, les organisations peuvent être considérées comme un ensemble de ressources. Les modèles les plus efficaces sont ceux qui offrent des opportunités de collaboration, d'échange et de partage des connaissances [11]. Les partenariats et les alliances stratégiques sont réputés fournir les capacités d'innovation nécessaires aux PME et aux startups pour lutter dans un monde complexe et incertain, surmonter une concurrence féroce et engager de nouveaux clients et d'autres parties prenantes concernées.

Les alliances stratégiques jouent un rôle majeur, notamment dans les industries à forte intensité de capital et de savoir, ainsi que dans les secteurs basés sur des technologies en évolution rapide. Les alliances stratégiques sont également cruciales dans les secteurs industriels dans lesquels le développement de nouveaux produits est plus risqué et coûteux, et l'accès à de nouvelles connaissances, technologies et capacités critiques est crucial. Dans des environnements de plus en plus instables et incertains où les entreprises sont de plus en plus dispersées à travers le monde, les collaborations et alliances avec des universités centrales, des centres de recherche, des clients, des fournisseurs ou même des concurrents sont devenues essentielles pour améliorer la capacité d'innovation et la compétitivité à long terme grâce à l'accès à ressources et capacités externes, déclenchant de nouvelles synergies et créant, transférant et intégrant de nouvelles idées, connaissances et technologies innovantes. Les organisations sont condamnées à perdre en partie l'échange de connaissances et la capacité d'innovation si elles ne coopèrent pas actuellement avec elles, compromettant fortement leur base de connaissances à long terme.

Alliances stratégiques transfrontalières

D'un point de vue commercial international, les alliances stratégiques déclenchées par une stratégie de recherche de marketing ont généralement été l'une des approches les plus répandues. Néanmoins, il existe aujourd'hui un intérêt croissant pour la connaissance/R&D&I à la recherche d'alliances stratégiques comme stratégie efficace pour acquérir des connaissances et des technologies

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

développées ailleurs [12]. Dans cette perspective, les chercheurs démontrent désormais la pertinence croissante d'acquérir des capacités technologiques dispersées à l'échelle internationale en s'engageant dans des alliances technologiques transfrontalières.

Les alliances stratégiques transfrontalières sont une approche de plus en plus attrayante en raison des pressions concurrentielles constantes sur les marchés mondiaux et de l'interdépendance croissante du développement technologique. De manière générale, les alliances stratégiques de R&D englobent généralement des programmes bilatéraux de R&D de transfert de technologie tels que des projets de R&D conjoints et des coentreprises. Les organisations poursuivent des alliances de R&D visant à accéder à des technologies nouvelles et complémentaires et à accélérer leurs processus d'innovation, d'échange de connaissances et d'apprentissage. Ce type d'alliances est généralement associé à une incertitude élevée, à un risque élevé et à un gain potentiel élevé. Les connaissances, les compétences et la technologie nécessaires pour soutenir la compétitivité mondiale sont souvent dispersées à l'échelle internationale et intégrées dans différents pays. En établissant des alliances stratégiques transfrontalières, les organisations sont censées avoir accès aux capacités technologiques intégrées dans les organisations partenaires, ainsi qu'aux connaissances et capacités intégrées dans la région ou le pays où le partenaire est basé. Par conséquent, en comblant le fossé entre deux ensembles distincts de capacités techniques provenant de différents endroits, les alliances transfrontalières peuvent offrir des opportunités d'apprentissage sans précédent. Les environnements nationaux sont idiosyncratiques par nature en ce qui concerne leurs bases de connaissances. La variété qui peut être atteinte dans différentes régions ou nations offre aux organisations des opportunités d'échange de connaissances plus étendues que celles atteintes par une opération purement locale. Cette capacité à élargir et à aligner des capacités technologiques et d'apprentissage complémentaires peut être essentielle pour les entreprises (par exemple dans le secteur textile) qui souhaitent conserver une position de leader sur le marché mondial et exploiter les économies d'échelle et de portée au niveau international.

1.3. Culture de Start-up

La culture des organisations entrepreneuriales, en particulier des start-ups, se caractérise généralement par une structure organique et plate, avec un fort accent sur l'orientation/coopération externe [13]. Cela affecte largement les choix et les approches suivis par l'organisation, y compris les stratégies et processus organisationnels et d'innovation. La culture de démarrage est généralement façonnée par des attributs clés, par exemple : une attitude dynamique, proactive et de prise de risque, un leadership innovant et ascendant, des hiérarchies et des mécanismes flexibles et plats, et la volonté d'atteindre des objectifs stratégiques nouveaux et stimulants. Ces attributs peuvent être entièrement déverrouillés grâce à l'implication de leaders transformationnels qui travaillent directement pour améliorer la motivation et l'engagement de tous les travailleurs en alignant leurs hypothèses, leurs

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

valeurs et leurs normes vers une vision partagée, par opposition aux leaders transactionnels plus préoccupés par le statu quo et en suivant les règles, procédures et normes existantes.

Capacités managériales et entrepreneuriales

Les capacités managériales et entrepreneuriales sont cruciales pour la diffusion des pratiques d'innovation ouverte et leur mise en œuvre réussie [11]. Selon le modèle d'innovation ouverte, à mesure que la gestion des processus d'innovation devient plus complexe, le processus lui-même comprend beaucoup plus d'activités et de niveaux de gestion. Les start-ups sont généralement créées par des managers possédant à la fois une expertise scientifique et technique. Avec la croissance ultérieure de l'entreprise, le recrutement de nouveaux managers aux compétences complémentaires (par exemple, ventes et marketing) sera nécessaire, afin de parvenir à une croissance durable. Cette nouvelle équipe de direction dotée d'un large éventail de compétences et d'expertises managériales contribuera à combler les lacunes en matière de compétences entrepreneuriales et sera cruciale pour fournir à l'organisation la capacité d'identifier et de mettre en œuvre des réseaux collaboratifs de PME et des pratiques d'innovation ouverte.

Cependant, une start-up entrepreneuriale ne signifie pas que nous sommes automatiquement face à une organisation agile. Cela ne nécessitera pas seulement des connaissances et des ressources structurelles, car cela s'appuie sur une culture intégrée de l'innovation et de la prise de risques.

Agilité organisationnelle

L'agilité correspond à la capacité des organisations à gérer avec succès les changements incertains, volatils et imprévisibles des environnements environnants, afin d'être en mesure de soutenir la croissance et de maintenir la compétitivité [14], [15]. L'agilité est un concept dynamique et largement spécifique au contexte, permettant aux nouvelles entreprises contemporaines d'embrasser simultanément le changement et la croissance.

Dans ce monde complexe et en évolution rapide, les start-ups doivent avoir la capacité d'innover pour survivre. L'approche agile devrait combler la séparation hiérarchique en favorisant les interactions et la créativité au sein d'équipes agiles. Les équipes agiles sont responsables d'une flexibilité accrue et d'une réactivité accrue au changement. Le leadership agile et le travail en équipes flexibles reposent sur des séquences de cycles de travail courts suivis de boucles de rétroaction internes et d'interactions avec les clients également.

Une organisation agile peut agir de manière dynamique tout au long de processus décisionnels rapides et a la capacité de maximiser l'apprentissage et la mise en œuvre de ses connaissances, en pouvant utiliser ses compétences là où elles sont le plus nécessaires. Cela permettra à la start-up de reconfigurer et de réaligner rapidement sa stratégie pour suivre un objectif ou un objectif spécifique et correspondre pleinement aux opportunités émergentes [16].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Le rôle de la culture dans l'agilité organisationnelle

Le **modèle des valeurs concurrentes** « Competing Values Framework (CVF) » est couramment utilisé pour explorer le rôle de la culture favorisant l'agilité organisationnelle, permettant de comprendre et d'évaluer les différentes entreprises au regard de leurs cultures d'entreprise et de leur orientation vers l'innovation [17].

Chaque quadrant du cadre CVF (voir la figure ci-dessous) correspond à une certaine logique. Une organisation n'est pas enfermée dans un certain quadrant, néanmoins elle ne peut pas se concentrer entièrement sur toutes les logiques à la fois. Les entreprises ont généralement tendance à concentrer leurs efforts entre les différents quadrants, ce qui va générer des tensions au sein de l'entreprise, car plusieurs logiques peuvent être présentes en même temps.

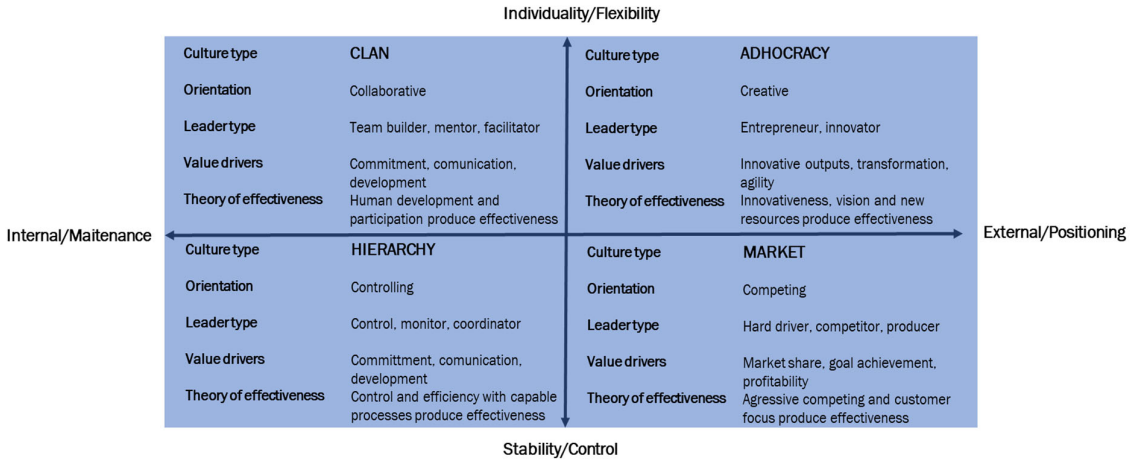


Figure 2. Le rôle de la culture : modèle des valeurs concurrentes (CVF) [*17*]

L'axe des x fait référence aux logiques de valeur concurrentes entre l'accent interne (maintenance) et externe (positionnement). L'axe des ordonnées affiche des valeurs concurrentes allant de l'individualité et de la flexibilité (en haut) à la stabilité et au contrôle (en bas). Cela représente quatre approches de la culture.

Chaque type de culture peut être décrit en tenant compte des attributs suivants : orientation, type de leader, facteurs de valeur et théorie de l'efficacité. Concernant la **culture du clan** : l'environnement ressemble à un lieu personnel comme une grande famille, caractérisé par des valeurs de cohésion, de participation, de grande implication et de travail d'équipe, des réseaux sociaux étroits, les dirigeants peuvent être vus comme des mentors et des bâtisseurs d'équipe qui valorisent les besoins des clients et les soins sur l'équipe. La **culture adhocrate** correspond à un environnement dynamique et créatif ; les leaders sont des entrepreneurs, des innovateurs et des preneurs de risques ; les moteurs de valeur sont les résultats innovants, la transformation et l'agilité ; les facteurs de succès correspondent à

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

l'innovation et les nouvelles ressources produisent l'efficacité la disponibilité de nouveaux produits ou services ; Les start-ups partagent généralement une culture de type clan et adhocrate. Concernant **l'orientation** : Les start-ups se sentent à l'aise avec leur structure allégée. Ils ont un comportement agile et sont correctement préparés pour répondre à des changements internes ou externes rapides ; **Vision** : de nombreuses start-ups sont formées pour résoudre des défis sociaux basés sur une vision partagée vers un monde plus durable ; **Dirigeants** : Très présents, transparents et impliquant et motivant tous les travailleurs, partageant et promouvant la vision de l'entreprise (en interne et en externe).

La culture de start-up diffère beaucoup de la **culture de marché** généralement présente dans les grandes organisations, qui se caractérise par l'accent mis sur les résultats et les objectifs (orientation concurrentielle), ou la **culture hiérarchique** où les dirigeants sont transactionnels et montrent plus de commandement et de contrôle, la réputation et le succès sont importants. La structure hiérarchique est visible, la culture plus formelle et l'environnement de travail plus structuré, offrant des possibilités limitées de créativité.

Le modèle CVF est devenu un outil important pour identifier le rôle d'une culture dans l'efficacité commerciale d'une organisation. Il fournit des informations précieuses sur les compétences de leadership, de gestion et d'organisation les plus efficaces et les mieux adaptées pour façonner une culture organisationnelle particulière, et sur la manière dont l'entreprise doit agir pour maintenir sa capacité d'innovation et ses performances à long terme.

2. Exemples de bonnes pratiques : Le réseau CONTEXT

Ci-dessous est décrit un exemple paradigmatique de mise en réseau d'innovateurs clairement axés sur l'amélioration de leur capacité d'innovation et de transfert de connaissances afin de favoriser leur compétitivité et la performance globale du secteur des matériaux textiles avancés.

CONTEXTE [18], « Le réseau européen d'experts sur les matériaux textiles avancés » est financé par la Coopération européenne en science et technologie (COST), qui finance la création de réseaux de recherche, appelés Actions COST. Ces réseaux offrent un espace ouvert pour la collaboration entre scientifiques à travers l'Europe (et au-delà) et donnent ainsi une impulsion aux avancées de la recherche et à l'innovation. Cette action Cost, qui a débuté en octobre 2018, a pour objectif principal d'unir les efforts au niveau européen pour faciliter l'adoption par le marché de nouveaux matériaux textiles avancés, en réduisant l'écart entre la recherche et l'industrie.

Le réseau CONTEXT couvre 35 pays européens, 3 pays voisins proches et 1 pays partenaire international, un exemple clair de coopération transfrontalière.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

En bref, les principaux objectifs de CONTEXT sont :

- Promouvoir le développement d'une feuille de route de recherche commune pour les textiles intelligents ;
- Favoriser le transfert de connaissances entre différents acteurs afin de trouver des applications appropriées dans divers domaines multidisciplinaires ;
- Agir en tant que plate-forme des parties prenantes pour identifier les besoins et les exigences de différents points de vue dans une approche ascendante ;
- Promouvoir les activités de mise en réseau afin d'attirer les talents, construire des projets de recherche plus nombreux et de meilleure qualité avec une plus grande conscience des objectifs de création de résultats exploitables.

Le réseau innovation est ouvert à tous les professionnels de la recherche, entreprises, clusters et utilisateurs finaux, qui peuvent participer aux différentes activités. CONTEXT rassemble toutes ces parties prenantes afin de développer des idées et des initiatives communes qui peuvent être transformées en produits textiles intelligents avancés.

CONTEXT est structuré en 6 groupes de travail, dont 5 centrés sur différentes applications des matériaux textiles avancés : santé/médical, automobile et aéronautique, protection individuelle, bâtiment et habitat, sports et habillement. Le sixième groupe d'intérêt est la diffusion et la communication.

3. Conclusions

La collaboration accrue via les réseaux d'innovation entre les entreprises, les entrepreneurs, les instituts de recherche, les clusters et le secteur public ouvre la voie à des entreprises plus compétitives, renforçant leur capacité d'innovation individuellement et globalement en tant qu'écosystème.

L'adoption de pratiques d'innovation ouverte est actuellement en augmentation parmi les entreprises et conduit à un scénario gagnant-gagnant : elles sont capables d'exploiter des connaissances en dehors de leurs frontières (par l'échange de connaissances avec des partenaires externes) tout en gardant leurs propres connaissances disponibles pour que d'autres puissent les exploiter. L'approche d'innovation ouverte revêt une pertinence croissante car elle peut apporter d'énormes avantages aux parties prenantes impliquées, notamment un accès facilité à des connaissances et à une expertise particulière, un délai de mise sur le marché réduit, des risques et des coûts de R&D réduits.

L'établissement d'alliances stratégiques favorise grandement l'apprentissage technologique et l'augmentation des performances d'innovation des partenaires impliqués, en particulier s'ils

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

intègrent une variété de capacités technologiques présentes dans des organisations opérant dans différentes parties du globe (le rôle des collaborations croisées).

L'agilité organisationnelle est jugée cruciale pour l'innovation des organisations et leur performance concurrentielle accrue dans les entreprises contemporaines.

Le rôle des attributs et traits spécifiques des dirigeants des start-ups innovantes façonne largement la capacité d'innovation et le succès commercial de ces entreprises. Les entreprises qui s'appuient sur des hiérarchies plates, un leadership transformationnel et où la créativité et la participation inclusive de tous les travailleurs sont encouragées, sont les mieux préparées à faire face à l'incertitude et à la volatilité actuelles des marchés mondiaux.

Références

[*1*] P. Levén, J. Holmström, and L. Mathiassen. "Managing research and innovation networks: Evidence from a government sponsored cross-industry program." *Research Policy,* vol. 43, no. 1, pp. 156-168, 2014.

[*2*] B.T. Asheim and A. Isaksen, "Regional innovation systems: the integration of local 'sticky'and global 'ubiquitous' knowledge." *The Journal of Technology Transfer,* vol. 27, no. 1, pp. 77-86, 2002.

[*3*] P. Cunningham, and R. Ramlogan, *"Chapter 9: The impact of innovation networks." in* Handbook of innovation policy impact, J. Edler et al., Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: *Edward Elgar Publishing, 2016, pp. 279-317.*

[*4*] C.M. Enzing, *Product innovation in the Dutch food and beverage industry: A study on the impact of the innovation process, strategy and network on the product's shortand long term market performance*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2009.

[*5*] J. Sandberg et al. "Balancing diversity in innovation networks: Trading zones in university-industry R&D collaboration." *European Journal of Innovation Management*, vol. 18, no. 1, pp. 44-69, 2015.

[*6*] J-F. Harvey, et al. "Knowing communities in the front end of innovation." *Research-Technology Management,* vol. 58, no. 1, pp. 46-54, 2015.

[*7*] C. Páez-Avilés, E. Juanola-Feliu, and J. Samitier. "Cross-fertilization of Key Enabling Technologies: An empirical study of nanotechnology-related projects based on innovation management strategies." *Journal of Engineering and Technology Management,* vol. 49, pp. 22-45, 2018.

[*8*] H.W. Chesbrough, *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Boston, Massachusetts: Harvard Business Press, 2003.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

[*9*] D.J. Teece, "Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy." *Research policy,* vol. 15, no. 6, pp. 285-305, 1986.

[*10*] F.G. Alberti, and E. Pirzzurno. "Oops, I did it again! Knowledge leaks in open innovation networks with start-ups." *European journal of innovation management*, vol. 20, no. 1, pp. 50-79, 2017.

[*11*] P. Wynarczyk, P. Piperopoulos, and M. McAdam. "Open innovation in small and medium-sized enterprises: An overview." *International small business journal*, vol. 31, no. 3, pp. 240-255, 2013.

[*12*] C-S. Kim, and A.C. Inkpen. "Cross-border R&D alliances, absorptive capacity and technology learning." *Journal of International Management* , vol. 11, no. 3, pp. 313-329, 2005.

[*13*] J. J. Yun, et al. "The culture for open innovation dynamics.", *Sustainability*, vol. 12, no. 11, pp. 5076-5097, 2020.

[*14*] D. Teece, M. Peteraf, and S. Leih. "Dynamic capabilities and organizational agility: Risk, uncertainty, and strategy in the innovation economy." *California management review*, vol. 58, no. 4, pp. 13-35, 2016.

[*15*] D. Gonçalves, et al. "Cultural aspects of organizational agility affecting digital innovation." *Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation*, vol. 16, no. 4, pp. 13-46, 2020.

[*16*] C. Burchardt, and B. Bettina Maisch. "Digitalization needs a cultural change–examples of applying Agility and Open Innovation to drive the digital transformation." *Procedia CIRP*, vol. 84, pp. 112-117, 2019.

[*17*] K.S. Cameron and R.E. Quinn, *Competing values leadership*. Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing, 2014.

[*18*] CONTEXT. (2020, 05.26). *CONTEXT, the European network of experts on advanced textile materials, starts its third Grant Period*. Context-cost.eu. [Online]. Disponible sur : https://www.context-cost.eu/2020/05/26/context-the-european-network-of-experts-on-advanced-textile-materials-starts-its-third-grant-period/ [Consulté : Juin 25, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Réseautage d'innovation …

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) … est un ensemble de nœuds et de relations qui relient différents acteurs de l'innovation.

b) … est le processus de communication des idées à l'intérieur de l'entreprise.

c) … n'implique pas la collaboration entre différentes organisations.

Question 2 : Organisation agility est…

Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) … la capacité des organisations à gérer avec succès les changements incertains, volatils et imprévisibles des environnements environnants, afin d'être en mesure de soutenir la croissance et de maintenir la compétitivité.

b) … lorsqu'une entreprise développe rapidement un produit.

c) … dominant dans les équipes avec un leadership contrôlant et des hiérarchies élevées.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 9.3 Initiatives gouvernementales et européennes

David Gómez i Maurel
AEI Tèxtils

1. Introduction à la politique industrielle de l'UE

La politique industrielle de l'UE a récemment tiré les leçons de la pandémie de COVID-19. Un an après que l'offre de nombreux produits et services ait été menacée, la communauté considère le marché unique comme l'une des dynamiques et des atouts potentiels les plus importants.

La stratégie pour une industrie consolidée et résiliente proposée par l'UE est la suivante :

Des partenariats internationaux diversifiés pour garantir que le commerce et l'investissement continuent de jouer un rôle clé dans le renforcement de notre résilience économique [1].

Le développement des capacités stratégiques de l'Europe dans des domaines clés en soutenant de nouvelles alliances industrielles dans des domaines stratégiques pour développer des activités qui ne se développeraient pas autrement, et où elles contribuent à attirer des investisseurs privés pour discuter de nouveaux partenariats et modèles commerciaux d'une manière ouverte, transparente et pleinement conforme aux règles de concurrence [1].

Suivi des dépendances stratégiques. Un premier rapport basé sur une analyse ascendante des dépendances stratégiques de l'UE. Le rapport recense 137 produits dans des écosystèmes sensibles pour lesquels l'UE est fortement dépendante de sources étrangères. Il propose également une analyse approfondie de six domaines stratégiques dans lesquels l'UE a des dépendances : matières premières, batteries, ingrédients pharmaceutiques actifs, hydrogène, semi-conducteurs, technologies cloud et de pointe [1].

1.1. Politique et Observatoire EU des clusters et des mutations industrielles

“Plus précisément, les clusters sont un actif précieux pour la stratégie industrielle de l'UE. Les clusters permettent à divers acteurs impliqués dans l'industrie de rejoindre et d'explorer des lignes innovantes et compétitives. Offrir aux entreprises, établissements d'enseignement, autorités, centres de R&D un écosystème confortable pour renforcer leur chaîne de valeur industrielle [1].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'UE s'appuie sur l'Observatoire européen des clusters et des mutations industrielles pour accompagner ces entités dans le développement de leur fonction : « accompagner les mutations structurelles régionales et le développement des filières émergentes [1].

L'un des défis que l'industrie européenne est sur le point de relever dans les décennies à venir est la transition verte et numérique. L'UE parie pour les clusters comme étape essentielle de cette transition industrielle et de l'augmentation de la croissance et de la productivité. C'est pourquoi elle a lancé l'action pilote intitulée « Régions en transition industrielle ».

Figure 1 - Régions en transition industrielle [3]

Une initiative qui vise aux clusters de petites régions de certains membres de l'UE à « renforcer leur capacité d'innovation, supprimer les obstacles à l'investissement, doter les travailleurs des compétences appropriées et se préparer au changement industriel et sociétal, sur la base de leurs stratégies de spécialisation intelligente ».

En outre, l'observatoire européen des clusters et des mutations industrielles soutient l'activité des clusters en fournissant un soutien politique aux initiatives de clusters existantes ou émergentes au niveau national et régional avec des actions telles que [2] :

- « Développer des clusters de classe mondiale avec des chaînes de valeur industrielles compétitives et transversales,
- Accompagner la modernisation industrielle,
- Favoriser l'entrepreneuriat dans les secteurs émergents à potentiel de croissance,
- Réunir les décideurs et acteurs européens des clusters lors d'événements dédiés,
- Améliorer l'accès des PME aux clusters et aux activités d'internationalisation, et

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Permettre une collaboration et des investissements interrégionaux plus stratégiques pour mettre en œuvre des stratégies de spécialisation intelligente ».

1.2. Performance des clusters dans l'UE [3]

La plateforme européenne de collaboration des clusters (ECCP), lancée le 8 mars 2016, est la plus grande communauté européenne et internationale d'organisations et de parties prenantes de clusters. C'est un outil qui facilite la coopération entre clusters en Europe et aide les clusters à accéder aux marchés internationaux. Cela permet aux organisations européennes de clusters de se profiler, d'échanger leurs expériences et de rechercher des partenaires potentiels pour une coopération transnationale. Il compte plus de 1.200 profils de cluster.

Ensuite, il existe également une autre institution pertinente en ce qui concerne les clusters. L'observatoire européen des clusters et des mutations industrielles a récemment élaboré un rapport sur le comportement des clusters à travers l'Europe. Connaître le fonctionnement de ces facilitateurs nous donne des outils pour prévisualiser, favoriser et faciliter la croissance économique.

Quelques faits saillants et conclusions sont rassemblés ci-dessous pour prouver sa pertinence, comment ils fonctionnent et comment peuvent être utiles pour les entreprises et les centres de R&D.

Il faut d'abord penser à analyser quel secteur de l'économie européenne il s'agit. Ci-dessous, nous pouvons voir que l'importance est mise en évidence, car nous trouvons des clusters fournissant ou directement impliqués dans près de 25% de l'emploi industriel européen basé sur l'exportation.

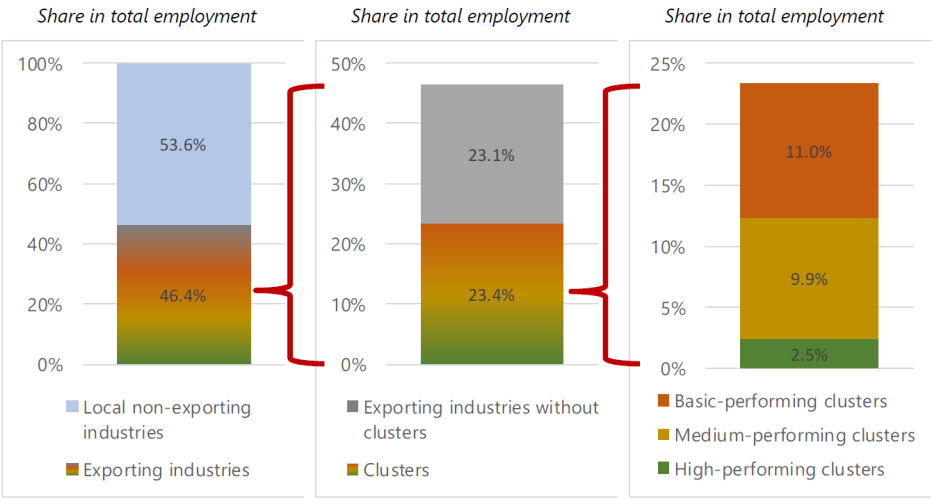


Figure 2 : Parts de l'emploi (2017) : Industries et grappes exportatrices [3]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

L'étude compare les informations jusqu'à 51 secteurs industriels et le secteur textile est l'un d'entre eux. Certaines informations pertinentes émergées dans ce domaine sont liées à l'emploi, soulignant que les 48% du secteur textile et manufacturier en Europe comptent avec la dynamisation des clusters (p.17).

L'étude suggère également que les grandes villes et les zones métropolitaines peuvent être un environnement approprié pour la présence et l'activité du cluster et son efficacité. Comme il est suggéré à la page 32 du rapport (figure 3), il existe une corrélation possible entre les régions les plus peuplées et l'aire métropolitaine avec le nombre et la bonne performance des clusters. Cependant, il souligne que cette corrélation peut ne pas être déterminante, car la figure 4 indique qu'il n'y a pas de lien entre le nombre de clusters forts et à la fois la densité de population et le degré d'urbanisation, tous deux indicateurs de la présence de grandes villes urbanisées et densément peuplées. Cependant, il existe une relation positive et significative entre le nombre de grappes fortes et la taille de la région telle que mesurée par la population » (p.32).

	NUTS code	Region	Basic-performing clusters	Medium-performing clusters	High-performing clusters	Total number of strong clusters
1	FR10	Ile-De-France	10	30	3	43
	ITC4	Lombardia	20	21	2	43
3	ES51	Cataluña	31	9	1	41
4	ITH3	Veneto	22	15	0	37
5	ES30	Madrid	24	10	2	36
	ITC1	Piemonte	14	15	7	36
7	ITI1	Toscana	21	12	1	34
8	ES52	Comunidad Valenciana	26	7	0	33
	FR71	Rhone-Alpes	22	9	2	33
10	ITH5	Emilia-Romagna	20	11	1	32
	SE11	Stockholm	16	14	2	32
12	ES61	Andalucía	23	8	0	31

Figure 3 : Top-25 régions avec la plupart des clusters [3]

13	DEA1	Duesseldorf	11	14	4	29
	ITF3	Campania	13	14	2	29
	ITI4	Lazio	15	13	1	29
16	DE11	Stuttgart	15	6	7	28
	ES21	País Vasco	9	16	3	28
	PL12	Mazowieckie	11	17	0	28
19	DEA2	Köln	10	12	5	27
20	DE21	Oberbayern	22	4	0	26
	IE02	Southern and Eastern	14	8	4	26
22	UKI3	Inner London - West	20	5	0	25
23	BE23	East-Flanders	15	9	0	24
	HU10	Central Hungary	17	4	3	24
	PL41	Wielkopolskie	17	5	2	24

Note: Regions ordered first by total number of clusters and then alphabetically by NUTS code.

Figure 3 (continuation) : régions avec la plupart des clusters [3]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

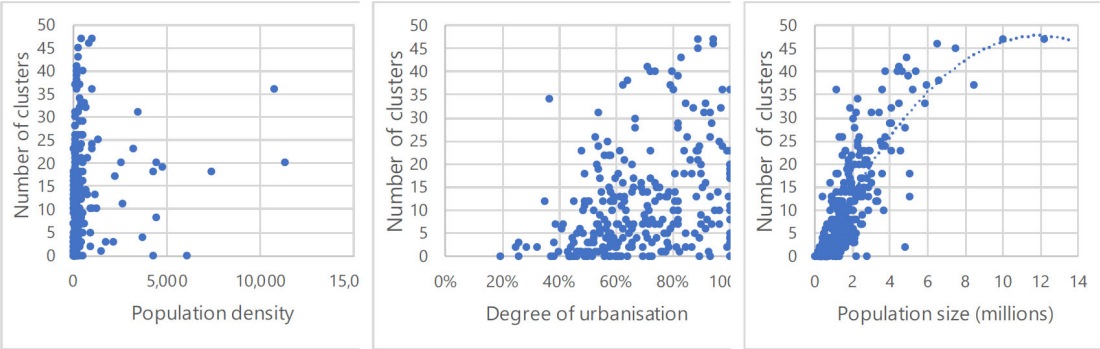


Figure 4 : Lien entre les clusters et la taille d'une région [*3*]

2. Projets de coopération

Les projets de coopération à travers l'Europe et d'autres domaines stratégiques sont essentiels pour rendre l'industrie flexible et faciliter la croissance des entreprises.

2.1. Projects EU-Méditerranée

L'espace méditerranéen est une zone stratégique pour l'UE. L'Union pour la Méditerranée (UpM) est une institution intergouvernementale qui rassemble plus de quinze pays pour promouvoir la coopération scientifique et technologique, entre autres. Concrètement, « elle a des accords avec l'Algérie, l'Égypte, la Jordanie, le Maroc et la Tunisie » [4].

Figure 5 : Carte des membres de l'UpM [*5*]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.2. Erasmus+ projets [*6*]

Erasmus+, probablement l'une des initiatives européennes les plus connues, est également une opportunité pour les clusters et les entreprises d'améliorer leurs performances. Erasmus+ vise principalement à promouvoir l'éducation et la formation de la jeunesse européenne.

Néanmoins, il existe des lignes spécifiques du programme, telles que le « Renforcement des capacités des établissements d'enseignement supérieur » (EES), qui sont ouvertes aux États non membres associés et son objectif est de « moderniser, internationaliser et accroître l'accès à l'enseignement supérieur, relever les défis auxquels sont confrontés leurs établissements et systèmes d'enseignement supérieur, accroître la coopération avec l'UE, converger volontairement avec le développement de l'UE dans l'enseignement supérieur et promouvoir les contacts interpersonnels, la conscience interculturelle et la compréhension ».

Ce type d'initiatives représente une approche très intéressante pour le développement de l'industrie, car les entreprises, les centres de R&D, les institutions, … auront toujours besoin de professionnels, de matériel formé et de connaissances sur l'industrie et la façon de travailler de leurs voisins.

A cet égard, les clusters peuvent jouer un rôle déterminant pour détecter tous les besoins dans ce domaine, rassembler toutes les parties prenantes intéressées et mettre en œuvre des plans de développement grâce à cette opportunité de financement.

2.3. ENI CBC Med [*7*]

ENI CBC Med est la plus grande initiative de coopération transfrontalière (CTF) mise en œuvre par l'UE dans le cadre de l'instrument européen de voisinage (IEV).

Le programme rassemble les territoires côtiers de 14 pays de l'UE et des pays partenaires en vue de favoriser un développement juste, équitable et durable des deux côtés des frontières extérieures de l'UE.

Ses priorités sont liées aux ODD mondiaux et se concentrent, entre autres, sur le développement des entreprises et des PME, les start-ups, les clusters euro-méditerranéens, le transfert technologique et l'innovation et l'accès des PME à la recherche et à l'innovation.

Elle lance périodiquement plusieurs appels à propositions, pour le développement de projets liés aux domaines mentionnés.

Les pays éligibles pour soumettre ces propositions sont ceux qui ont l'ensemble du pays ou une région avec le littoral méditerranéen.

3. Exemples de projets

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Nous pouvons trouver des références de projets de coopération existants qui ont étudié les possibilités qu'un environnement de l'industrie textile peut avoir à se développer. Certaines initiatives recommandées à prendre en compte visant le renforcement des capacités peuvent provenir des financements fournis par les appels mentionnés précédemment. Quelques exemples sont détaillés ci-dessous.

Enfin, dans le secteur textile, certains projets se sont récemment concentrés sur la mise à disposition de machines et de moyens textiles pour faciliter aux acteurs eux-mêmes le début ou le renforcement de leurs interactions en leur donnant des capacités d'investigation, de test, …

3.1. Projet Wintex [*8*]

En particulier, le projet WINTEX offre une vue d'ensemble et une expérience intéressante sur les collaborations dans le secteur.

Entre autres résultats, le projet Wintex a produit une base de données sur les meilleures pratiques et des expériences réussies dans le renforcement des capacités appliquées dans l'industrie textile.

Dans ce rapport, nous pouvons trouver une base de données des centres textiles innovants existants dans l'UE, tous expérimentés dans ce type de collaborations ; expériences de collaborations entre universités et entreprises du secteur ; L'innovation et l'entrepreneuriat menés par les EES et la collaboration d'entreprises ainsi que la collecte d'expériences antérieures de projets de collaboration ou de renforcement des capacités.

Le pays récepteur de ce renforcement des capacités est la Tunisie.

3.2. Projet Innolea [*9*]

Innolea est un autre projet, financé par le programme Erasmus+, qui vise à combler les lacunes dans le domaine des services spécialisés pour le secteur du cuir, avec la création de quatre centres du cuir dans les universités locales.

Le projet devrait « donner accès aux acteurs de la filière cuir aux services de développement commercial, tels que les tests de qualité, la certification des produits, la formation, les tendances de la mode, l'organisation de la production, les opportunités business to business afin de développer ce secteur et d'améliorer sa compétitivité. . "

Dans ce cas, deux pays bénéficient de ce renforcement de capacités : la Jordanie et l'Egypte.

3.3. Projet Fostex [*10*]

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Le projet Fostex est également une initiative exemplaire. Dans ce cas, le Maroc et la Jordanie bénéficieront de la mise en place de trois nouveaux centres d'innovation textile de pointe pleinement opérationnels. Avec cette initiative de renforcement des capacités, elle devrait permettre une collaboration renforcée entre les centres de formation et les entreprises. Un facteur clé précédemment exposé pour la création et la disponibilité du réseau pour mettre en œuvre de nouvelles stratégies industrielles, de modernisation et d'innovation.

4. Conclusions

L'Union européenne a appris - et mis en œuvre - que la multilatéralité est la meilleure option pour garantir une économie plus forte.

Son union de marché unique n'est qu'un exemple de l'importance de collaborer et d'établir des complicités avec les voisins. Une économie diversifiée et une chaîne d'approvisionnement bien définie sont déterminantes pour contenir des imprévisibilités telles que la pandémie de COVID-19.

Ensuite, il faut souligner le papier du cluster. Dans ce rapport, nous avons vu à quel point les clusters sont pertinents pour le développement industriel et innovant, car ils agissent comme une plaque tournante, ils facilitent la coopération entre différents types d'acteurs de l'industrie. Une coopération qui, éventuellement, n'aurait pas vu le jour sans le partage d'intérêts communs qu'un cluster se charge de détecter et de connaître.

En outre, l'une des politiques clés de l'UE est la collaboration avec ses parties prenantes géographiquement plus proches. Nous avons vu quelques exemples d'initiatives que l'UE lance pour renforcer la collaboration et stimuler la modernisation des zones industrielles en dehors de l'UE elle-même.

Nous pouvons en déduire que la région méditerranéenne est stratégique et précieuse pour l'UE, car les réseaux intergouvernementaux et les projets de coopération sont axés sur les besoins et les demandes possibles de cette région.

Enfin, il est important de remarquer que ces opportunités de financement sont hautement recommandables, toujours du point de vue de la capacitation, permettant et soutenant des domaines spécifiques pour se développer, croître et être compétitifs par eux-mêmes.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] European Commission. (2021, May.05). European industrial strategy. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/growth/industry/policy_en#industrial-strategy-2020 [Consulté : Juin 10, 2021].

[2] European Commission. (2019, June. 10). *Summary Report on Cluster Policy in Regions.* [Online]. Disponible sur : https://clustercollaboration.eu/news/summary-report-cluster-policy-regions [Consulté Juin 14, 2021].

[3] H. Hollanders and I. Merkelbach (European Commission) "European Panorama of Clusters and Industrial Change", 2020 edition [Online]. Disponible sur : https://clustercollaboration.eu/sites/default/files/news_attachment/european_panorama_2020.pdf [Consulté : Juin 10, 2021].

[4] European Commission. *Mediterranean, Policy background, UfM regional platform, roadmaps, projects and results, funding and events*. [Online]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/strategy/strategy-2020-2024/europe-world/international-cooperation/mediterranean_en [Consulté : Juin15, 2021]

[5] Union for the Mediterranean. *Member States*. [Online] Disponible sur : https://ufmsecretariat.org/who-we-are/member-states/ [Consulté : Juin 17, 2021]

[6] European Commission. *Erasmus+*. [Online] Disponible sur : https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/about_en [Consulté : Juin 17, 2021]

[7] ENI CBC Med. *Home*. [Online] Disponible sur : http://www.enicbcmed.eu/ [Consulté : Juin 15, 2021]

[8] Wintex project. *Home*. [Online] Disponible sur : https://wintexproject.eu/ [Consulté : Juin 18, 2021]

[9] Innolea. *Home*. [Online] Disponible sur : https://innolea-forum.com/index.php/en/about-innolea [Consulté : Juin. 18, 2021]

[10] Fostex. *Home*. [Online] Disponible sur : https://fostexproject.eu/ [Consulté : Juin 17, 2021]

[11] European Cluster Collaboration Platform. [Online] Disponible sur : https://clustercollaboration.eu/ [Consulté : Juin 17, 2021]

[12] Performance of strong clusters across 51 sectors and the role of firm size in driving specialisation, 2020 edition.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : quel est le rôle des clusters dans la politique industrielle de l'UE ?
Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Rassemblez toutes les parties prenantes potentielles, facilitez leur interaction et leur collaboration, et trouvez des intérêts, des stratégies et des solutions communes. (C)
b) Rassemblez les entreprises et facilitez leur interaction afin d'augmenter leurs bénéfices.
c) Rassemblez toutes les parties prenantes potentielles de divers secteurs pour se réunir dans une stratégie commune

Question 2 : Quelle est l'importance de l'espace méditerranéen pour l'UE ?
Veuillez choisir la bonne réponse parmi les trois choix ci-dessous.

a) Il est stratégiquement important de collaborer et de renforcer les relations avec les voisins. (C)
b) Il est parfois important de collaborer avec des voisins méditerranéens.
c) Peu importe la collaboration avec les voisins méditerranéens.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Cours 9.4 Histoires de réussite et meilleures pratiques

Ariadna Detrell, Mònica Castellà
AEI TÈXTILS

1. Le cluster comme outil de coopération

Un cluster est un groupe géographiquement proche d'entreprises interconnectées et d'institutions associées dans des domaines particuliers, liées par des points communs et des complémentarités.

Les clusters permettent l'"innovation ouverte", c'est-à-dire la création et le perfectionnement de nouvelles idées dans des réseaux d'entreprises et d'institutions coopérantes. Ils réduisent également les obstacles à la transformation des nouvelles idées en entreprises et à la capture des avantages de la mondialisation.

En outre, elles tirent parti des nouvelles possibilités offertes par l'économie mondiale et deviennent des facteurs clés pour attirer les capitaux, les personnes et les connaissances. Elles peuvent donc être considérées comme une occasion de renouveler l'économie et la société.

Compte tenu de ce potentiel, le renforcement des clusters et de leurs organisations doit être activement soutenu aux niveaux régional, national et européen. Les clusters et les réseaux d'innovation sont des outils puissants pour promouvoir la recherche, le développement et l'innovation qui, à leur tour, créent de la croissance dans divers domaines.

Diverses études réalisées prouvent l'impact positif des activités des clusters sur les investissements en R&D, l'innovation et la collaboration en matière de R&D. Elles montrent que le retour et le bénéfice sur les investissements en R&D sont plus élevés que ceux sur les investissements en R&D. Elles montrent que le rendement et les bénéfices des investissements en R&D augmentent, ce qui confirme que les clusters offrent un environnement commercial favorable et dynamique qui accroît considérablement la compétitivité.

Faire partie d'un cluster peut apporter aux entreprises des avantages importants, tels que :

- Accès aux intrants spécialisés : Les clusters peuvent fournir un accès supérieur ou à moindre coût à des intrants spécialisés tels que des composants, des machines (entre autres), ou l'importation d'intrants provenant de lieux éloignés.
- Accès à l'information : La proximité et l'existence de relations personnelles et de liens communautaires favorisant la confiance facilite la circulation de l'information au sein d'un cluster.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- Complémentarités : Les clusters augmentent la productivité non seulement par l'acquisition et l'assemblage d'intrants, mais aussi en facilitant les complémentarités entre les activités des participants au cluster.
- Accès aux institutions et aux biens publics : Les entreprises au sein d'un cluster peuvent accéder à des infrastructures spécialisées ou à des conseils d'experts dans les institutions locales à un coût très faible.
- Incitations et mesure de la performance : Les clusters permettent de mesurer la performance des activités internes par le biais d'entreprises locales qui remplissent des fonctions similaires.

2. L'AEI TÈXTILS, une réussite de cluster

2.1. Introduction à AEI TÈXTILS

AEI TÈXTILS est né en 2008. Il s'agit d'un cluster avec une structure associative sans but lucratif, formé par des entreprises catalanes de la chaîne de valeur des matériaux textiles avancés et d'autres organisations de soutien à l'innovation.

Sa mission est de promouvoir l'innovation dans le but d'améliorer la compétitivité de ses membres, ainsi que la coopération, la complémentarité et la communication entre eux.

Sa vision est d'atteindre une masse critique d'entreprises et d'organisations innovantes dans la région afin de faciliter les pratiques innovantes qui permettent d'améliorer leur compétitivité et leur renommée internationale.

Les objectifs stratégiques de l'AEI TÈXTILS sont les suivants :

- Promouvoir l'innovation au sens large, en améliorant les capacités de ses membres et en les combinant au moyen de collaborations horizontales et multidisciplinaires.
- Présence commerciale mondiale par le biais de la promotion et de l'internationalisation.
- Gestion et amélioration de la productivité des entreprises pour générer de la valeur ajoutée et faire face à l'environnement actuel.

2.2. Structure du cluster

La figure ci-dessus illustre la structure d'AEI TÈXTILS : Au centre, comme le noyau de l'organisation, il y a les entreprises de fabrication, couvrant toute la chaîne de valeur pour produire des matériaux textiles avancés : des producteurs de fils, des fabricants de tissus (tricotage, tissage et non-tissés) aux entreprises de finition.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Autour du centre se trouvent les organisations qui soutiennent ces entreprises, comme les fournisseurs de matières premières, les fournisseurs d'équipements, les prestataires de services, les centres de R&D, les universités ou l'administration publique.

Les produits fabriqués par les membres du cluster, qui peuvent être intermédiaires ou finaux, sont axés sur des applications techniques : génie civil, agriculture et pêche, bâtiment et architecture textile, automobile et transports publics, applications médicales, hygiéniques et sanitaires, emballage et transport de marchandises, sports et loisirs, protection individuelle, utilisations industrielles, protection de l'environnement, principalement.

Figure 1. La structure de AEI TÈXTILS

Le cluster compte 40 membres, dont 33 sont des PME, les autres membres étant des instituts de recherche, des centres technologiques et d'autres organisations liées au secteur.

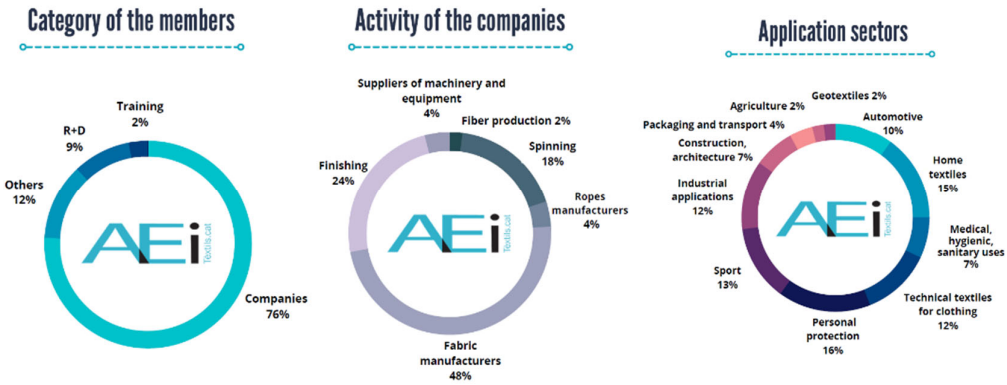


Figure 2. Catégorie, activité et secteurs d'application des membres du cluster

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

2.3. Comment dynamiser un secteur ?

La stratégie du cluster (figure 3) repose sur quatre lignes stratégiques : l'innovation, les compétences, l'internationalisation et le développement des entreprises, avec la numérisation et la durabilité comme moteurs transversaux de la stratégie et la mise en réseau comme outil commun.

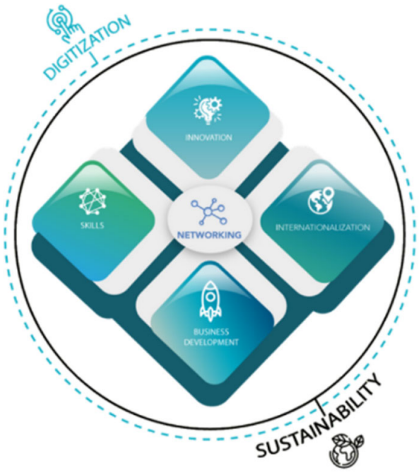


Figure 3. La stratégie de AEI TÈXTILS

- INNOVATION : promouvoir la coopération entre ses membres, augmenter l'adoption d'initiatives de soutien à l'innovation ; promouvoir la participation du secteur catalan des matériaux textiles avancés à la coopération technologique avec des projets européens et augmenter la productivité sur le territoire en favorisant l'implantation de nouvelles technologies et le développement de nouveaux produits et processus.

- INTERNATIONALISATION : Améliorer l'accès aux marchés internationaux ; favoriser l'accès aux connaissances par le biais de partenaires internationaux en R&D, technologiques et commerciaux et améliorer l'accès aux infrastructures de recherche et de production clés dans les pays tiers.

- COMPÉTENCES : Développement des capacités des employés actuels du secteur et amélioration du niveau de qualification ; promotion du développement et de la connaissance des opportunités de carrière dans le secteur et fourniture d'une formation unique et spécifique sur la technologie et les marchés dans le secteur des matériaux textiles avancés.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

- LE DÉVELOPPEMENT DES ENTREPRISES : Promouvoir l'échange de bonnes pratiques entre les entreprises locales ; améliorer l'image du secteur en Catalogne ; promouvoir ses forces et ses capacités auprès d'autres secteurs manufacturiers du territoire afin d'augmenter les opportunités commerciales au niveau mondial et renforcer le dialogue entre l'industrie, la communauté scientifique et l'administration publique.

Depuis 2019, le pôle a connu une croissance importante : Nouveaux membres, nouveaux projets stratégiques et augmentation du personnel. Les activités menées par le cluster sont alignées sur sa stratégie :

- Innovation : AEI TÈXTILS a mené des projets tels que MIDWOR-LIFE et LIFE-FLAREX, tous deux dédiés à l'évaluation d'alternatives plus sûres aux produits chimiques nocifs utilisés dans l'industrie textile. Dans le cadre des services de soutien, AEI TÈXTILS a aidé ses membres à participer à des projets de R&D de l'UE, dont certains ont été récompensés par l'Instrument PME et d'autres programmes de financement.

- Internationalisation : Après sa participation à TEXTILE2020 dans le cadre du programme CIP, AEI TÈXTILS a participé en tant que partenaire à EU-TEXTILE2030, un partenariat stratégique européen pour s'internationaliser. AEI TÈXTILS a joué un rôle de premier plan dans la durabilité du cluster EU World-Class et a incité plusieurs entreprises à explorer et à participer aux différentes missions commerciales.

- La ligne de compétences est axée sur l'augmentation de la formation des employés actuels du secteur et l'amélioration du niveau de qualification ; la promotion du développement et de la connaissance des opportunités de carrière dans le secteur et la fourniture d'une formation unique et spécifique sur la technologie et le marché dans le secteur des textiles techniques. Pour cela, AEI TÈXTILS a également participé en tant que partenaire à plusieurs projets Erasmus+, dont TECLO, TEXSTRA, FOSTEX ou WINTEX. En outre, le cluster lui-même est également engagé dans l'excellence de la gestion des clusters et coordonne par conséquent le projet CLAMTEX, un projet ESCP4x dans le cadre du programme de travail COSME.

- Développement commercial : AEI TÈXTILS a participé à plusieurs foires commerciales sectorielles, promouvant les membres du cluster comme TECHTEXTIL, CITEXT, COLOMBIA MODA 2018 (dans le cadre du projet EU-TEXTILE2030) et est présente dans plusieurs réseaux internationaux dédiés à la promotion des entreprises qui composent le cluster. L'AEI TÈXTILS est impliquée dans des réseaux/organisations internationaux tels que :

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Membre fondateur et secrétaire du groupement européen d'intérêt économique EU-TEXTILEA2030.

Le gestionnaire du cluster AEI TÈXTILS est le président de l'action de coût CA17107 CONTEXT, qui vise à promouvoir la coopération en matière de R&D pour les textiles avancés et intelligents. Ce réseau est construit à partir des différents partenariats et collaborations avec d'autres clusters textiles et centres de recherche à travers l'Europe, y compris les deux autres partenaires textiles du présent consortium.

Membre de la plateforme technologique européenne du textile.

Membre du comité de programme du Congrès mondial des fibres de Dornbirn.

L'engagement de l'AEI TÈXTILS dans le soutien de ses membres l'a conduit à signer avec la délégation régionale du réseau Enterprises Europe Network (EEN) pour devenir une entité de promotion de l'EEN auprès de ses membres.

Le cluster est également impliqué dans les trois principaux cadres européens de soutien aux clusters à travers les projets européens qu'il mène ou auxquels il participe :

Figure 4. Cadre de soutien de l'UE pour les clusters

- GALACTICA : Il vise à faciliter la formation de nouvelles chaînes de valeur industrielles au sein des industries textile et aérospatiale, basées sur la fabrication avancée. Le projet permettra

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

l'adoption de systèmes industriels intelligents et de l'Internet industriel des objets comme moteurs stratégiques de l'innovation dans les secteurs du textile et de l'aérospatiale.

- TEXGLOBAL : L'objectif de ce projet est de soutenir la croissance, la compétitivité et la modernisation industrielle des entreprises textiles européennes en facilitant l'internationalisation et les activités d'innovation.

- ADMANTEX2i : son principal objectif est de mener une coopération internationale en grappes dans le domaine de la fabrication avancée et des matériaux textiles avancés, en tant que catalyseur de produits durables compétitifs à l'échelle mondiale et fonctionnels dans une large gamme d'applications haut de gamme telles que le transport, la protection personnelle et d'autres applications industrielles.

- CLAMTEX : il vise à renforcer l'excellence de la gestion des clusters afin de stimuler l'écosystème d'innovation des textiles techniques spécialisés en encourageant la collaboration intersectorielle et interrégionale pour faciliter le processus de numérisation au sein et au-delà du partenariat.

2.4. Meilleures pratiques mises en œuvre

Voici quelques exemples de bonnes pratiques mises en œuvre dans le cluster, depuis sa création en 2008 :

- **Projet SOS TÈXTIL**

De juin 2010 à décembre 2012, AEI TÈXTILS a supervisé le projet de gestion appelé Recherche de SOS Tèxtil. Son objectif était d'établir la protection globale des pompiers sur la base du trinôme confort-protection-fonctionnalité. Il a été réalisé par 7 PME membres de l'AEI Tèxtils (de différentes étapes de la chaîne de valeur textile), avec 3 centres de recherche également membres, et cofinancé par l'agence régionale catalane ACC1Ó et FEDER.

Le projet visait à améliorer l'équilibre entre la protection, le confort et la fonctionnalité des vêtements du personnel des services d'incendie et de secours, en optimisant les caractéristiques des matériaux textiles utilisés dans le secteur de la fabrication. Ainsi, différentes compositions de fibres, structures de tissus, laminés et conceptions de vêtements ont été étudiées, afin d'identifier un concept de vêtements modulaires dans lequel les couches successives de produits textiles (systèmes) fournissent des niveaux élevés de protection contre la chaleur convective et radiante, tout en maintenant la

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

respirabilité nécessaire et la facilité de mouvement des utilisateurs, comme dans les tâches d'extinction des incendies structurels, dans les feux de forêt ou dans d'autres opérations de sauvetage.

Figure 5. Image du concept de vêtements dans le projet SOS TÈXTIL

- **Le projet PACTEX**

AEI TÈXTILS a coordonné le projet PACTEX en coopération avec le Cluster Emballage. L'objectif de PACTEX était d'établir des synergies entre les entreprises des deux clusters et de favoriser entre elles l'utilisation efficace des ressources matérielles par la réduction des déchets industriels à la source, la réutilisation des produits, l'amélioration de la recyclabilité et la valorisation des déchets.

Dans un premier temps, on a procédé à une identification détaillée du type de ressources matérielles et de résidus générés par les entreprises des deux secteurs. Une fois ce diagnostic initial réalisé, on a proposé une série d'améliorations et de mesures innovantes (technologiques et/ou non technologiques) à incorporer par les entreprises pour obtenir une meilleure réutilisation des ressources matérielles et réduire la génération de déchets industriels. Une évaluation des aspects techniques, économiques et environnementaux de chacune des propositions et mesures proposées a été réalisée.

Enfin, les mesures les plus appropriées ont été sélectionnées pour être testées afin de prouver leur viabilité technique, économique et environnementale. Les résultats du projet et toutes les suggestions d'amélioration et les mesures innovantes proposées ont été rassemblés dans un guide sectoriel.

- **Projet de collaboration inter-clusters**

Un nouveau produit en plastique fabriqué à partir de déchets de l'industrie textile est le titre d'un projet de symbiose industrielle réalisé en collaboration entre les membres du Cluster Emballage et AEI Tèxtils, issu du précédent projet PACTEX. L'objectif était d'introduire sur le marché des produits en plastique fabriqués à partir de polypropylène récupéré dans les déchets de l'industrie textile.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Le projet, cofinancé par l'Agence des déchets de Catalogne, a débuté en janvier 2019 et s'est terminé le 30 mars 2021. Il a été mis en œuvre par les entreprises LIASA et NG PLASTICS, membres de l'AEI Tèxtils et du Cluster Emballage, respectivement. Les deux clusters ont collaboré activement à l'élaboration du projet.

NG Plastics, fabricant d'emballages plastiques pour divers secteurs, a utilisé les déchets de LIASA (fils de polypropylène) pour produire de nouveaux produits d'emballage présentant un niveau de qualité et des caractéristiques égales à ceux fabriqués avec du matériel vierge. Le résultat a été une partie d'une capsule de bouteille de cava, obtenue par le processus d'injection. Ce produit a été fabriqué avec un matériau 100% recyclé.

Pour déterminer l'impact environnemental du processus, une analyse du cycle de vie (ACV) a été réalisée. Le résultat a déterminé que le processus de recyclage du fil de polypropylène est respectueux de l'environnement et réduit considérablement les impacts environnementaux et l'empreinte carbone. Par exemple, chaque kg de fil de polypropylène recyclé permet d'éviter l'émission de 1,11 kg d'équivalent CO2.

NG Plastics prévoit de produire 5 millions d'unités de bouchons de cava par an en utilisant des granulés de polypropylène recyclés, ce qui représente une économie de 36,5 tonnes de matière première vierge et une réduction des émissions de plus de 40,5 tonnes de CO2.

- **Redéfinition stratégique du cluster**

La pandémie et les efforts de ces dernières années en termes de recherche, de développement et d'innovation ont permis à AEI TÈXTILS de rester en avance sur le marché et de créer de nouvelles opportunités.

Avec l'objectif de s'améliorer, d'augmenter l'activité et de répondre aux nouveaux besoins des membres, AEI TÈXTILS a redéfini sa stratégie pour 2021-2025.

Aligné sur les trois domaines clés de soutien aux clusters (excellence, nouvelles chaînes de valeur et internationalisation) de la Commission européenne, le cluster a organisé des réunions participatives virtuelles, utilisant des outils créatifs avec ses membres pour définir ensemble la stratégie pour les années à venir.

Ces sessions ont fourni les outils et informations nécessaires pour faire face aux nouveaux défis, soutenir les entreprises du secteur dans la transformation verte et numérique et consolider une industrie plus résiliente et compétitive.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Références

[1] M. Porter, T*he Competitive Advantage of Nations*. London: Palgrave MacMillan, 1990

[2] F. Lasch, F.Robert, F. Le Roy and R. Thurik. *Cooperation, Clusters, and Knowledge Transfer: Universities and Firms Towards Regional*. London: Springer, 2013.

[3] AEI TÈXTILS. *Home*. 25/06/21. [Online]. Disponible sur : www.aeitextils.cat/en [Consulté : Juin 16, 2021].

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Questions pour l'évaluation du cours

Question 1 : Faire partie d'une grappe peut fournir aux entreprises…

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) ... le libre accès aux investissements en R&D.

b) ... pour mesurer la performance des activités internes.

c) ... d'être en contact avec tous les membres du cluster dans le monde.

Question 2 : Les quatre axes stratégiques du pôle AEI TÈXTILS sont les suivants …

Veuillez choisir une réponse correcte parmi les trois choix ci-dessous.

a) ... innovation, internationalisation, compétences et développement.

b) ... compétences, chaînes de valeur mondiales, développement des entreprises et internationalisation.

c) ... développement des entreprises, internationalisation, innovation et compétences.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union