

Université de Lille Faculté D'Ingénierie et Management de la Santé
(ILIS) Master Healthcare Business

Boulmont Tess

Les textiles et accessoires intelligents dans le domaine de la santé

Comment peuvent-ils contribuer à améliorer le quotidien des
patients ?

Mémoire de fin d'étude de la deuxième année de Master
Année universitaire 2020-2021

Sous la direction de Madame Hélène Gorge

Jury composé de : Madame Hélène Gorge, en tant que Directrice de Mémoire
Monsieur Régis Logier, en tant que Président du jury
Monsieur Alexis Delanoë, en tant que membre professionnel

Mémoire soutenu le 30 juin 2021

Master Ingénierie de la Santé - Parcours Healthcare Business et Recherche Clinique

Faculté d'Ingénierie et Management de la Santé - ILIS

42 rue Ambroise Paré

59120 LOOS



Sommaire

Sommaire	2
Remerciement	4
Introduction	5
Revue de la littérature	7
Les textiles et accessoires intelligents : un marché en pleine expansion	7
Les différents types de textiles intelligents et leur fonctionnement	7
Les e-textiles	7
Les texticaments	15
Les différents domaines d'utilisation	19
La médecine	19
Le sport	21
Les loisirs et la vie quotidienne	24
La cosmétique et le bien-être	26
La mode	27
Les textiles intelligents dans le domaine médical	30
Les vêtements intelligents	30
Les accessoires connectés	32
Les objets intelligents	34
Étude d'un textile intelligent utilisé dans le domaine médical : le Cardioskin de BioSerenity	36
Le fonctionnement détaillé	36
Les bénéfices du produit	37
Les pistes d'amélioration possibles	39
II. Mieux comprendre l'évolution du marché des textiles intelligents : deux approches terrain différentes	42
Une étude quantitative auprès du grand public	42
La création du questionnaire	42
La diffusion et la récupération des réponses	43

Des entretiens individuels avec des professionnels du domaine	45
La réalisation du guide d'entretien	45
La réalisation des entretiens	46
Méthode d'analyse des deux études de terrain	48
III. Analyses des études de terrain	49
Le marché et les attentes actuels concernant les textiles intelligents	49
La connaissance des textiles et accessoires intelligents	49
L'utilisation de ces nouvelles technologies	50
L'avis des utilisateurs sur ces dispositifs	51
L'évolution des textiles intelligents et de leur marché	53
La question du prix et des remboursements	53
L'avancée des recherches pour l'amélioration des textiles et accessoires intelligents	54
L'évolution du marché dans les années à venir	56
IV. Recommandations	58
Pour les entreprises de textiles intelligents	58
Pour le corps médical	61
Conclusion	63
Bibliographie	65
Tables des figures et tableaux	69
Tables des annexes	70
Annexes	71

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier l'école d'ingénieur Polytech Lille pour m'avoir permise d'effectuer un double diplôme en partenariat avec la Faculté d'Ingénierie et Management de la Santé Ilis. Je remercie également l'Ilis ainsi que tout le corps enseignant pour cet accueil en deuxième année de Master Healthcare Business et les enseignements reçus lors de cette année.

Je souhaite ensuite remercier Madame Hélène Gorge, qui a été ma directrice de mémoire et qui a su m'aiguiller et me conseiller dans la rédaction de celui-ci. Je souhaite également la remercier pour l'accompagnement qu'elle m'a apporté tout au long de cette année pour mon intégration au master Healthcare Business.

Un grand merci aussi à Guillaume Tartare et à Jérémy Martin qui se sont rendus disponibles pour des entretiens malgré le contexte difficile. Leurs réponses à mes questions m'ont permis de mieux comprendre le marché des textiles intelligents et d'avoir des perspectives concrètes d'évolutions possibles de ces technologies.

Je souhaite également remercier mon entourage, ma famille et mes amis ainsi que toutes les personnes ayant répondu et partagé le questionnaire destiné au grand public. Ces nombreux partages m'ont permis d'obtenir un grand nombre de réponses avec un panel de participants variés pour permettre d'avoir une analyse du terrain la plus représentative possible.

Enfin, je voudrais remercier Nicolas Viéville, Mickael Dupont et Alexis Delanoë, les fondateurs de la société ReLab, pour m'avoir prise en stage de fin d'étude et également pour m'avoir accordée pendant ce stage du temps pour mon mémoire, notamment pour effectuer ma partie terrain.

Introduction

Le textile intelligent a fait son apparition il y a une quinzaine d'années, lors de la crise du marché textile en France. Ce type de textile fait suite aux textiles techniques qui, quant à eux, ont commencé à se développer à partir des années 1960. Ces derniers ont connu une forte croissance jusqu'à consommer un quart de la production mondiale de fibres dans les années 2000. Autour des années 2010, on a vu apparaître sur Internet beaucoup d'articles traitant des textiles et accessoires intelligents, ces technologies innovantes qui peuvent améliorer et faciliter nos vies. Aujourd'hui, qu'ils soient connectés ou qu'ils contiennent des substances chimiques, les textiles intelligents connaissent une forte croissance qui n'est pas prête de s'arrêter. [1]

Le secteur qui utilise le plus les textiles intelligents actuellement n'est pas un domaine qui concerne directement le grand public. C'est en effet le secteur de la défense qui est le plus grand consommateur de textiles et accessoires intelligents. On peut avoir par exemple des vestes contenant des capteurs qui vont mesurer l'état de santé du soldat.

J'ai cependant décidé pour ce mémoire de me concentrer sur les textiles et accessoires intelligents destinés à une utilisation par le grand public, car c'est pour moi ces dispositifs qui vont connaître la plus grande évolution dans les années à venir, que ce soit dans les technologies utilisées, les applications des textiles et accessoires intelligents, ou même la proportion de la population qui les utilise. Je n'aborderai donc pas ici ceux conçus pour les utilisations professionnelles, comme par exemple les textiles utilisés dans le secteur militaire ou encore avec des fonctions de protection, comme pour les tenues spéciales pour des pompiers qui peuvent protéger de la chaleur.

Mais plus que pour le grand public, c'est surtout dans le domaine médical que les textiles intelligents ont un fort potentiel. C'est pour cela que je souhaite à travers ce mémoire développer la question :

Comment les textiles et accessoires intelligents dans le domaine de la santé peuvent-ils contribuer à améliorer le quotidien des patients ?

Pour essayer de répondre à cette problématique, j'ai divisé ce mémoire en quatre grandes parties. Je commencerai par une revue de la littérature qui me permettra de mieux cerner les différents types de textiles et accessoires intelligents qui existent ainsi que leur fonctionnement. Je détaillerai également les différents domaines dans lesquels ces dispositifs peuvent trouver une utilité et quelles fonctionnalités ils peuvent apporter au quotidien avec un focus plus particulier sur le domaine médical, qui est le sujet principal de mon étude. Je finirai cette partie plutôt théorique par l'étude d'un textile intelligent en particulier pour mieux comprendre les bénéfices que peuvent avoir ce type de technologies comparé aux méthodes traditionnelles.

J'effectuerai ensuite dans un second temps une analyse du marché des textiles intelligents qui prendra la forme d'une étude de terrain. J'expliquerai tout d'abord dans la seconde partie de ce mémoire la méthodologie que j'ai mise en place pour effectuer cette étude de terrain. Cette méthode est un peu particulière car, pour obtenir une étude de marché la plus complète possible, j'ai décidé d'allier un questionnaire quantitatif destiné au grand public à des entretiens individuels avec des professionnels du secteur des objets intelligents. Je rassemblerai cependant les résultats de ces deux études de terrain lors de l'analyse de ceux-ci, ce qui constituera ma troisième partie. Cette analyse sera plutôt organisée chronologiquement pour comparer le marché actuel avec ce qu'il deviendra dans un futur proche.

Enfin, je développerai quelques recommandations pour les professionnels qui conçoivent ces dispositifs mais également pour ceux qui les utilisent.

I. Revue de la littérature

A. Les textiles et accessoires intelligents : un marché en pleine expansion

Dans un monde où la technologie prend de plus en plus de place dans notre quotidien, les textiles et accessoires intelligents sont voués à être également plus présents dans nos vies dans le futur. Ces dispositifs possèdent des fonctions variées qui leur permettent de pouvoir être utilisés dans de nombreux domaines comme la cosmétique, le sport ou encore la médecine.

a. Les différents types de textiles intelligents et leur fonctionnement

On parle souvent de textiles intelligents mais il en existe deux types très distincts : les e-textiles et les texticaments. Les e-textiles utilisent des composants électroniques pour récolter, traiter des informations et parfois réagir en conséquence. Les texticaments quant à eux contiennent des substances aux propriétés chimiques généralement pour apporter un traitement au porteur. Ces deux types de dispositifs ont donc des fonctionnements différents ce qui implique des utilisations également très différentes et variées.

i. Les e-textiles

Les e-textiles, ou textiles connectés, sont des textiles auxquels sont intégrés des composants électroniques. Ils possèdent plusieurs fonctions qui les rendent utiles pour de nombreuses applications. Tout d'abord, ils sont généralement dotés de capteurs qui leur permettent de récolter les informations pour déterminer l'action à effectuer. Les données récoltées doivent ensuite être stockées, il faut donc que le textile intelligent possède un dispositif de stockage. Bien sûr, les données ne sont pas stockées indéfiniment et sont ensuite traitées pour que le textile puisse réagir en réponse aux données récoltées. Cette réaction peut être une émission de lumière ou une vibration qui permet de signaler un problème par exemple. Les e-textiles de ce type qui réagissent à des stimuli extérieurs sont qualifiés d'actifs. Il existe aussi les

e-textiles passifs qui eux ne font que récolter les données. Celles-ci sont ensuite transmises à une application grâce à un système de communication sans fil. Cette application va permettre de traiter les données transmises par le textile intelligent. Les textiles intelligents passifs sont ceux qui sont le plus utilisés, comme pour faire du monitoring par exemple ou pour récolter les informations concernant la course d'un jogger.



Figure 1 : Schéma des fonctions nécessaires au fonctionnement des e-textiles [2]

Il existe donc une multitude d'applications pour les e-textiles, ce qui implique une multitude de types de capteurs différents pour pouvoir mesurer tous les signaux souhaités :

- accéléromètre : Ces capteurs peuvent indiquer la vitesse et l'accélération (linéaire) d'un coureur par exemple mais leur capacité à détecter différents types d'accélération leur permet de collecter beaucoup de données différentes, et leur permet donc d'être utilisés dans de nombreux domaines, comme le sport ou la médecine.

Un accéléromètre est un capteur capable de transformer un mouvement cinétique en signal numérique. Il y a deux méthodes pour obtenir ce type de capteur. On peut tout d'abord l'obtenir par effet piézoélectrique, c'est-à-dire une différence de tension entre les cristaux de la structure cristalline formant le capteur, on peut également utiliser une différence de capacité entre deux microstructures.

- gyroscope : Ils ne mesurent que l'accélération angulaire. Ce type de capteur a donc une fonction similaire à l'accéléromètre, les mouvements qui peuvent être mesurés par le gyroscope ne sont simplement pas les mêmes que ceux mesurés par l'accéléromètre.

Ce capteur peut être de plusieurs types : capteurs à gaz, optiques ou mécaniques. Si les capteurs à gaz et mécaniques fonctionnent par une différence de potentiel créée par le mouvement et qui induit un courant électrique, le capteur optique a un fonctionnement différent. Le capteur optique est composé, comme son nom l'indique, de deux fibres optiques dans lesquelles passe un signal. En surveillant la différence de chemin parcouru par le signal dans ces deux fibres, on peut mesurer le mouvement auquel est soumis le capteur en utilisant l'effet Sagnac.

- GPS : C'est un capteur très courant qu'il est fréquent de trouver dans les textiles et accessoires intelligents. Ce type de capteur peut indiquer une position, mais il peut également servir à déterminer une distance. On trouve souvent des GPS dans les dispositifs utilisés par les sportifs.
- Capteur pour la mesure du pouls : Encore une fois, il y a plusieurs manières de mesurer le pouls. On peut par exemple utiliser une électrode qui sera collée contre la peau, ce qui effectuera une détection capacitive. Une méthode également très utilisée, notamment pour les montres et bracelets connectés, est la photopléthysmographie : le bracelet émet une lumière verte, à l'aide généralement d'une diode, et une photodiode mesure l'absorption de la lumière. En effet, plus le sang circule vite dans le corps (et donc plus le pouls est élevé), plus la quantité de lumière absorbée sera importante, ce qui permet de déterminer le pouls du porteur. Il est possible en utilisant la même méthode mais avec une lumière rouge de déterminer le niveau d'oxygène dans le corps. En effet, la lumière rouge n'ayant pas la même longueur d'onde que la lumière verte, la pénétration dans les tissus n'est pas la même.

- podomètre : Les podomètres sont des capteurs conçus pour compter les pas de l'utilisateur. On utilise aujourd'hui principalement des podomètres électriques, mais il existe aussi des podomètres mécaniques dont le principe a été gardé pour les podomètres électriques. Pour déterminer le nombre de pas dans un podomètre, on utilise un pendule métallique à deux extrémités. A chaque pas effectué par l'utilisateur, le pendule touche une des extrémités, ce qui ferme un circuit électronique de comptage. Ceci a pour effet de faire circuler le courant et donc d'ajouter une itération. Le pendule retourne ensuite à sa position initiale, ce qui ouvre le circuit à nouveau, et le système est prêt pour la prochaine itération. Une étude a été menée par l'université Nebraska Wesleyan en 2017 et a montré que les podomètres ne possèdent pas une bonne compatibilité avec les autres types de capteurs. En effet, les résultats donnés par les appareils ayant pour seule fonction le podomètre étaient plus juste que les montres pouvant également mesurer le pouls par exemple. L'étude a également montré que ce type de capteur est très sensible à l'emplacement auquel il se trouve : les podomètres situés au niveau de la taille sont généralement plus exacts que les podomètres positionnés au niveau du poignet.
- capteur de pression : Ce type de capteur permet par exemple de surveiller la qualité de mouvement, en sport par exemple, pour suivre à la fois les performances mais aussi veiller à la sécurité du mouvement. Lorsqu'une force est appliquée sur ce capteur, un changement de résistance se fait dans le circuit, ce qui permet de détecter le mouvement. Il existe également des capteurs de pression qui ont plutôt une fonction de baromètre. Ceux-ci sont surtout utilisés pour déterminer la météo dans les montres connectées par exemple.
- capteur de température : ce genre de capteur peut être utilisé pour des textiles qui ont justement pour but la régulation de la température. Cela peut être des vêtements pour les sportifs qui rafraîchissent pendant l'effort si la température est élevée ou réchauffent s'il fait froid, ou on peut aussi imaginer des t-shirts ou des vestes qui aident à maintenir une température corporelle moyenne qui pourraient être utilisés par tout le monde, ou même de la literie

qui serait capable de réguler la température. Ils peuvent également être utilisés par les pompiers pour détecter les températures excessives. [1]

- capteur de lumière : Les capteurs de lumière sont rarement utilisés pour des textiles intelligents qui ont une fonctionnalité qui améliore ou facilite la vie du porteur. En effet, ils sont plutôt utilisés dans le secteur de la mode pour créer des design uniques et interactifs que dans les secteurs comme la santé par exemple où ils ne présenteraient que peu d'intérêt.
- capteur chimique : Ce type de capteur peut être utilisé pour détecter la présence d'une substance volatile dans l'air ou d'une substance liquide si celle-ci entre en contact avec le dispositif. C'est utile par exemple pour les tenues de pompiers car ils permettent de détecter des substances dangereuses à respirer, ils peuvent aussi être utilisés pour des tenues de protection dans des laboratoires.[2]

La façon la plus simple d'intégrer des capteurs à un textile est de les ajouter par la suite. Ils peuvent donc être cousus sur le vêtement ou ils peuvent être directement collés à même la peau. Ces capteurs ajoutés au textile après la conception sont souvent sous forme de patch. Cependant, il existe aujourd'hui des capteurs souples en microfibres qui peuvent être tissés directement dans le textile et qui jouent le rôle de capteurs. L'avantage de ces derniers par rapport aux précédents est qu'ils s'intègrent mieux au tissu et procurent une meilleure respirabilité du porteur et donc un meilleur confort.

Pour décrire ce nouveau type de capteur, je vais prendre l'exemple du capteur souple capacitif en microfibres décrit dans l'article *Dual-Core Capacitive Microfiber Sensor for Smart Textile Applications* (2019). Celui-ci est tissé directement dans le textile et permet de mesurer une déformation, même si le capteur a été complètement sectionné.

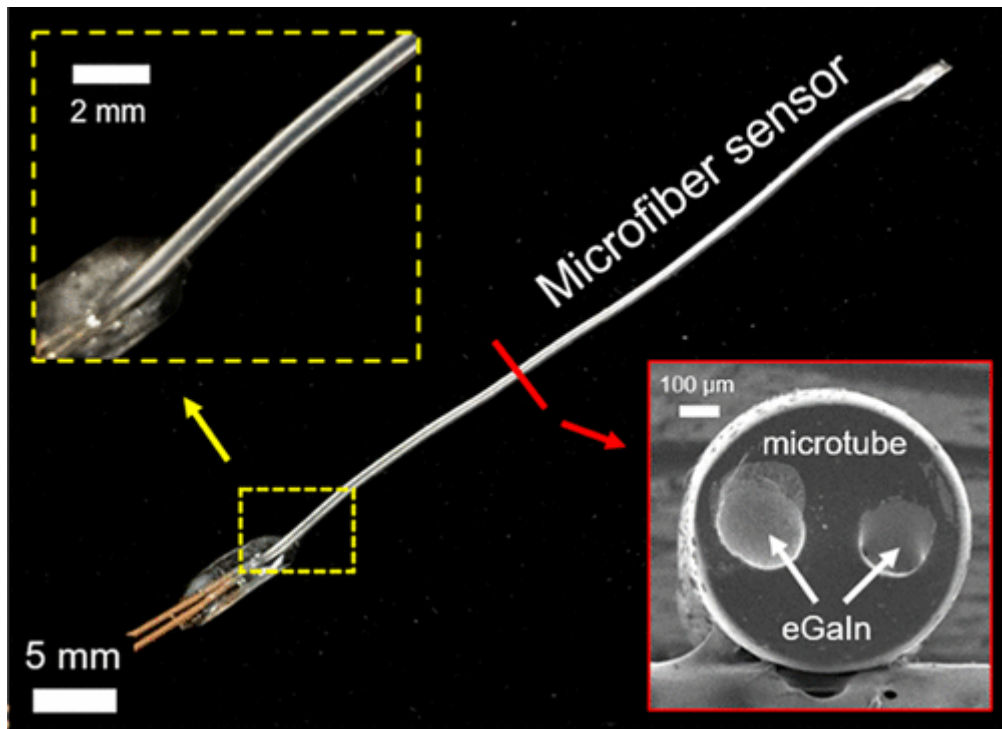


Figure 2 : Vue en coupe du capteur souple capacitif [3]

Ce type de capteur est étirable et flexible, il possède également une bonne stabilité électronique, même en cas de changement radical d'environnement. Ce capteur peut être utilisé pour créer des textiles intelligents pour interpréter les gestes de la main, détecter les mouvements des membres, ou encore surveiller la fréquence respiratoire par exemple. Il présente un atout pour le monitoring médical discret et continu.

Pour produire ce type de fibre de détection mécanique, qui réagit donc aux mouvements et aux déformations, il existe plusieurs méthodes : remplir un microtube en élastomère de liquide conducteur, extruder un noyau conducteur et une gaine, mélanger des charges conductrices dans une matrice en caoutchouc ou entourer une fibre de matériaux conducteurs. Tous ces capteurs présentent un comportement résistif, c'est-à-dire que la résistance interne du capteur varie en fonction de la charge externe.

Les capteurs capacitifs présentent une plus grande linéarité, un hystérésis inférieur mais sont plus compliqués à fabriquer que les capteurs résistifs car ils nécessitent deux voies conductrices. Plusieurs chercheurs ont travaillé sur ce type de capteurs ces dernières années. Tout d'abord, Lewis (2015) a développé avec son équipe un capteur capacitif portable pour détecter des déformations en plaçant deux couches conductrices séparées par une couche diélectrique, qui joue le rôle d'un isolant. Sur le même principe, Baughman (2016) et son groupe de chercheurs ont mis au point

une fibre torsadable capable de mesurer la déformation mais également la torsion. Plus récemment, l'équipe de Dickey (2017), en reprenant l'idée de Baughman d'avoir une fibre torsadée, a simplifié la construction de ce type de capteurs : en effet, en entrelaçant simplement deux brins de fibres conductrices souples, on obtient un capteur capacitif de déformation et de torsion. [3]

Pour pouvoir intégrer facilement ces capteurs à fibres aux textiles, l'enjeu principal est de réduire leur taille jusqu'à atteindre l'ordre du micromètre. Mais les capteurs en fibres, que ce soient les capteurs résistifs et capacitifs, présentent en général un principal inconvénient. Ce type de fibres est assez fragile et peut facilement s'abîmer ou se briser. Il faut donc trouver un équilibre entre souple et résistance dans le temps. Aujourd'hui, les capteurs à fibres conductrices sont souvent extensibles, souples et assez fins, ce qui leur permet d'être intégrés facilement dans le textile intelligent et de s'adapter comme le ferait une fibre textile classique à la forme du corps sans s'endommager. Il est également nécessaire, pour le confort du porteur, à veiller à ce que la fibre soit douce pour la peau, d'où l'importance du choix du matériau pour la gaine. Celle-ci est souvent constituée en polymère ce qui lui permet d'être résistante tout en permettant à la fibre de garder sa souplesse. Pour les voies conductrices, qui correspondent donc au cœur de la fibre, on choisit généralement des alliages de métaux liquides. Ceci permet une bonne conductivité ainsi qu'une grande flexibilité de la fibre.

Pour être intégrés dans des textiles et accessoires, les technologies de connexion sans fil se doivent d'être de petite taille. Cependant, il existe une variété de technologies qui possèdent chacune leurs caractéristiques, ce qui les rend plus adaptées à une application qu'à une autre :

- Le Bluetooth à basse consommation est, comme son nom l'indique, une technologie qui consomme peu d'énergie, ce qui s'explique par un débit de données assez faible. Cependant, cette faible consommation d'énergie permet aux équipements possédant cette technologie de tenir longtemps sans avoir besoin d'être rechargés. De plus, cette technologie a un coût assez faible (entre 5 et 35\$) ce qui lui permet d'être utilisé pour les usages du grand public, comme par exemple pour les bracelets connectés pour l'activité sportive.

- La technologie NFC (Near-Field Communication) est une technologie à très courte portée. C'est également une technologie relativement coûteuse (entre 25 et 100\$) avec un débit assez faible. Pour ces raisons, ce genre de technologie est assez peu utilisée, mis à part pour les systèmes de paiements sans contact par exemple, ou encore dans certains dispositifs médicaux pour lire les données récupérées par le dispositif à l'aide d'un smartphone.
- Le Bluetooth classique, qui coûte environ le même prix que le Bluetooth à basse consommation, consomme du coup plus d'énergie que ce dernier, mais son débit de données est deux fois supérieur ce qui explique cette différence. Son utilisation est donc plus adaptée pour une utilisation quotidienne pour laquelle les données peuvent être plus conséquentes que pour un usage sportif, comme des mails par exemple.
- L'ANT est une autre technologie de réseau sans fil qui a été spécialement conçue pour être une technologie qui consomme peu d'énergie. Ses caractéristiques sont similaires à celles du Bluetooth à basse consommation, ce qui en fait une technologie idéale pour les utilisations en sport, mais elle peut également être utilisée pour les autres applications de textiles ou accessoires intelligents si la quantité de données à transmettre n'est pas trop élevée. Cependant, cette technologie est un peu plus chère que le Bluetooth basse consommation (entre 15 et 40\$).
- La technologie ZigBee est utilisée pour les mêmes applications que le Bluetooth. En effet, les caractéristiques de ces deux technologies sont assez similaires, à la différence que ZigBee est moins chère que le Bluetooth (entre 4 et 20\$). Comme pour le Bluetooth, cette technologie peut être utilisée pour de nombreuses applications tant que le volume de données n'est pas trop important.
- Enfin, la technologie qui est peut-être la plus connue, le Wi-Fi. C'est la technologie la plus chère (50 à 120\$) et celle qui consomme le plus d'énergie, mais c'est également la technologie qui possède le débit de données le plus important (il peut aller jusqu'à 54 Mbits par seconde contre maximum 2 Mbits par seconde pour le Bluetooth). Ces raisons font que ce genre de technologie est plutôt utilisée pour un usage domestique ou par les industries.[3]

Il est possible de retrouver plusieurs de ces technologies dans un seul dispositif, notamment ceux d'usage quotidien, comme par exemple la technologie NFC pour payer sans contact et le Bluetooth à basse consommation pour la transmission des données pour une montre connectée.

Wireless Technology for Wearables	Cost (\$)	Power Consumption	Range (m)	Bandwidth	Bit Rate (Mbit/s)	Physical Size	Wearable Industry
Bluetooth LE	5-35	Low	~100	Low	0.12-2	Small	Sport
Near Field communication	25-100	Low (higher with passive tag)	~0.2	Low	0.4	Small	Medical Lifestyle
Bluetooth classic	5-35	Moderate	~100	High	1-3	Small	Lifestyle
ANT	15-40	Low	~30	Low	0.12-0.6	Small	Sport
ZigBee	4-20	Low	10-100	Low	0.25	Small	Industrial
Wi-Fi	50-120	Very high	10-70	High	2-54	Small	Industrial Lifestyle

Tableau 1 : Principales caractéristiques des technologies de connexion sans fil [3]

L'alimentation de ces produits peut se faire de deux façons : avec des piles ou par batterie rechargeable. L'idéal serait de ne pas avoir besoin d'un apport d'énergie externe, notamment pour réduire le poids de ces dispositifs. Les solutions qui seraient envisageables sont d'utiliser l'effet piézoélectrique pour créer de l'énergie ou l'énergie solaire. Cependant, pour les matériaux piézoélectriques, leur fragilité ne leur permet pour le moment pas de durer dans le temps, il n'est donc pas possible de les utiliser en tant que source d'énergie exclusive.

Pour ce type de textiles, les parties électroniques, comme la batterie et le système de traitement des données par exemple) sont généralement amovibles pour faciliter l'entretien. En effet, un des inconvénients le plus importants des e-textiles est leur entretien : l'action mécanique ainsi que les détergents peuvent détériorer les capteurs, qu'ils soient en patch ou constitués de fibres. C'est pour cette raison qu'on essaie aujourd'hui de créer des fibres plus résistantes et plus fines qui permettraient une plus grande durabilité dans le temps tout en améliorant le confort du porteur.

ii. Les texticaments

Selon la définition du Bureau de Normalisation des Industries Textiles et de l'Habillement (BNITH) un cosmétotextile, ou texticament s'il est utilisé plutôt pour la santé, est un article contenant une substance ou une préparation destinée à être libérée durablement sur des parties superficielles de l'épiderme et revendiquant une

ou des propriétés particulières. Ces substances sont généralement contenues dans ce qu'on appelle des microcapsules pour que celles-ci puissent être facilement intégrées dans tout type de textile. Les substances encapsulées peuvent être des huiles essentielles, des médicaments ou encore des produits cosmétiques. La multitude de possibilités pour les substances qui sont encapsulées induit un grand nombre d'utilisations possibles aussi pour le textile : vêtement qui soigne, qui régule la température, qui fait mincir...

La microencapsulation est un principe qui présente beaucoup d'avantages, que ce soit pour les substances encapsulées ou pour les utilisations possibles ensuite. Je vais parler dans cette partie de la microencapsulation en rapport avec les texticaments et autres textiles utilisant cette technique, mais il y a beaucoup d'autres domaines pour lesquels on peut utiliser l'encapsulation. En cosmétique par exemple, la microencapsulation peut permettre d'intégrer un ingrédient qui ne sera libéré qu'à un certain moment, par une action mécanique, par l'action de l'eau ou encore par la chaleur. La microencapsulation peut également être utilisée dans le domaine de la chimie pour des peintures, ou encore dans la santé pour des thérapies cellulaires...

Il existe plusieurs types de microcapsules, que ce soit par la structure des microcapsules, leur taille (pouvant aller d'un millimètre à un micromètre), le matériau d'enrobage ou par la substance encapsulée elle-même. En effet, il y a deux principales structures : la structure matricielle, c'est-à-dire que le ou les actifs sont dispersés à l'intérieur du matériau d'enrobage, et la structure coeur/membrane, dans laquelle la substance active est entourée par une membrane de matériau d'enrobage.

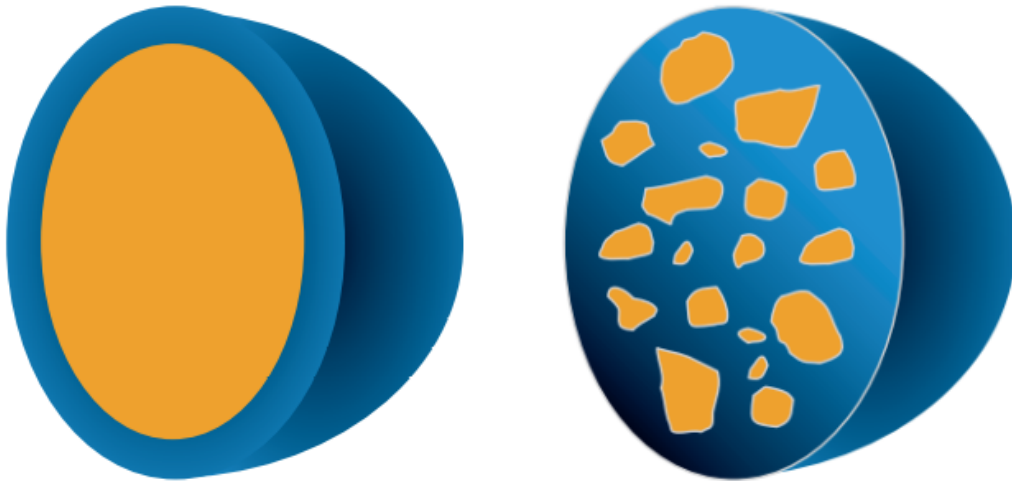


Figure 3 : Schémas des structures matricielle (à gauche) et coeur/membrane (à droite) [4]

Ces deux structures peuvent être combinées, pour former par exemple une capsule avec un cœur matriciel avec un autre principe actif autour qui est lui-même entouré par une membrane, ou encore un cœur de principe actif enrobé par une membrane sous forme matricielle. Le fait de combiner les deux structures permet de pouvoir incorporer plusieurs substances actives qui ne sont pas forcément compatibles ensemble dans une même capsule. Ces différents types de capsules sont dus à la technologie d'encapsulation utilisée.

Le principe général de la microencapsulation est l'incorporation du composé actif, qu'il soit sous forme liquide (actif dissous ou dispersé dans l'eau, un agent gras ou un solvant organique, mais cela peut être aussi un produit fondu ou naturellement sous forme liquide) ou solide (actif sous forme de poudre, cristaux, ou actif liquide absorbé par des particules inertes qui vont juste servir de support) dans un matériau enrobant. Cette action peut se faire selon plusieurs technologies :

- le dripping : c'est une technique qui consiste à pulvériser en goutte à goutte le principe actif dans un bain de gélification, par exemple une solution d'alginate, ce qui a pour effet d'emprisonner les gouttelettes de principe actif par du gel. Ce procédé permet d'obtenir des microcapsules qui ont quasiment toutes la même taille. La structure de ces capsules dépend de l'agitation ou non du

bain de gélification : si le bain est agité lors de la pulvérisation du principe actif, on obtiendra plutôt une structure matricielle, sinon la structure sera en cœur/membrane.

- spray-drying : pour cette méthode, on pulvérise des gouttelettes du principe actif dans un air très chaud pour sécher instantanément le produit. Ce procédé donne des microcapsules en structure matricielle et a pour avantage d'avoir une productivité très élevée. Mais le problème des capsules formées ainsi est qu'elles peuvent facilement se dégrader avec la température.
- prilling : Le prilling, ou spray-cooling, suit le même principe que le spray-drying, mis à part que les gouttelettes sont pulvérisées dans un air froid au lieu d'un air chaud pour le procédé spray-drying. Comme pour la méthode précédente, la structure des microcapsules est matricielle, la productivité est très bonne mais les capsules peuvent facilement se dégrader avec la température.
- enrobage : Ce procédé consiste à pulvériser sur des particules de principes actifs (soit solide, soit liquide sur support inerte solide) la solution d'enrobage. On obtient ici des microcapsules de type cœur/membrane avec une forte teneur en actif, puisque l'actif est enrobé pratiquement pur par la membrane. De plus, l'avantage de cette méthode est que la taille des capsules peut facilement être contrôlée.
- émulsion : Dans cette méthode, les microcapsules sont créées par émulsion de la substance active puis par stabilisation des gouttelettes formées par diverses méthodes (gélification thermique, solidification ou encore évaporation de solvant par exemple). Les microcapsules obtenues par cette méthode sont de tailles assez petites comparées aux autres méthodes et de structure cœur/membrane. [4]

Grâce à la microencapsulation, le principe actif encapsulé est protégé par exemple de la lumière, de l'oxydation, des changements de températures, etc. La durée de vie des principes actifs est donc allongée et ils ne sont libérés qu'après un certain temps qui est défini par la température de fusion de la capsule ou par l'action qui permet de la dissoudre. Pour les substances qui sont habituellement prises par voie

orale (comme des vitamines par exemple) mais qui peuvent également être absorbées par la peau, le système de micro-encapsulation permet justement de transmettre cette substance au corps sans le désagrément du goût par exemple (ou encore de l'odeur ou de la couleur) ce qui rend le traitement plus agréable pour le patient. [5]

Certains texticaments ne possèdent pas de substances encapsulées, l'actif est directement un composant du textile. Il existe par exemple des textiles tissés avec des fils d'argent pour apaiser les démangeaisons liées à l'eczéma par exemple. Ces textiles intelligents sont souvent qualifiés de passifs, puisque leur état ne change pas en fonction de l'environnement, contrairement aux textiles dont les capsules se brisent sous certaines contraintes. [6]

Comme pour les e-textiles, les texticaments sont très sensibles au lavage. En effet, lors du lavage, les microcapsules peuvent se briser et le texticament perd donc de son efficacité. Pour ce genre de problème, il existe des sprays utilisant contenant des microcapsules qui pourraient permettre de "recharger" les textiles en microcapsules, ou même à intégrer des microcapsules sur un textile classique, par exemple des microcapsules contenant des huiles essentielles pour que leur effet soit diffusé tout au long de la journée.

b. Les différents domaines d'utilisation

Pour le soin, le monitoring, mais également les loisirs avec les jeux vidéos, la vie quotidienne ou même le design, les textiles et accessoires intelligents peuvent être exploités dans de nombreux domaines. Leurs fonctionnalités variées leur permettent d'être très polyvalents selon les capteurs et l'électronique utilisés pour les e-textiles, ou selon les substances intégrées pour les texticaments. Sur un même principe de base et même parfois pour un même dispositif, on peut trouver des fonctions différentes selon la manière de l'utiliser et selon le domaine.

i. La médecine

Depuis de nombreuses années, les médecins utilisent de plus en plus d'outils connectés pour faciliter leur travail (pacemaker implanté relié à une application pour

le suivi du patient par exemple, ou encore robot assistant chirurgien, comme le robot Da Vinci). Aujourd'hui, il existe des accessoires et vêtements dits intelligents qui peuvent encore plus faciliter la surveillance et le suivi des patients, notamment à domicile. Grâce à la facilité d'utilisation des accessoires intelligents, la surveillance peut se faire par les médecins bien sûr, mais également par les patients eux-mêmes. Pour des dispositifs de suivi cardiaque reliés à une application par exemple, le patient peut recevoir une alerte sur son smartphone en cas de mesure anormale, ce qui peut permettre de prévenir certains soucis de santé, comme un début de crise cardiaque. Mais les textiles intelligents peuvent aussi servir à soigner, par le biais de médicaments contenus dans le textile ou accessoire ou par d'autres fonctionnalités permises par les textiles intelligents.

Le secteur médical est un secteur dans lequel on peut retrouver les deux types de textiles et accessoires intelligents. En effet, les textiles intelligents dans le domaine médical peuvent avoir plusieurs fonctions : le monitoring, qui consiste en la surveillance de données d'un patient sur une période plus ou moins longue, et le soin, qui peut se faire via un textile intelligent seul ou accompagné d'un autre dispositif (crème à appliquer par exemple). Le soin consiste généralement à des traitements de problèmes cutanés, ou alors d'autres pathologies par des substances facilement transmissibles au corps à travers la peau. En rejoignant un peu le monitoring, on peut également penser au suivi de l'efficacité d'un traitement par le biais d'un textile intelligent qui va surveiller l'évolution de l'état du patient. Ce genre de dispositif pourrait détecter au plus tôt un problème de dosage par exemple, ainsi le traitement peut être ajusté pour éviter le maximum de désagréments au patient. Cette divergence de fonction induit donc une diversité dans les types de textiles.

Les e-textiles sont bien sûr utilisés pour le monitoring et le suivi d'efficacité de traitement, puisque ces deux applications nécessitent la mesure de signaux et l'enregistrement de données, mais ils peuvent aussi être utilisés dans le cadre de soin avec par exemple une émission de lumière qui peut permettre d'activer une substance nécessitant de la lumière, ou encore de faire de la luminothérapie.

Les texticaments ont eux plus vocation à soigner. Ces soins peuvent être des traitements locaux, pour des problèmes de peau par exemple, mais on peut aussi

imaginer des substances qui passent dans le sang à travers la peau pour soigner d'autres parties du corps.

Avec la crise sanitaire du COVID-19, l'utilité des systèmes de monitoring et de soins à distance est encore plus mise en lumière. En effet, même pour les systèmes de monitoring qui ne sont pas forcément à domicile, l'utilisation de ces dispositifs permet de réduire grandement le risque de contamination dans ce contexte de pandémie. Ces dispositifs permettent également de réduire la charge de travail non liée au coronavirus, et ils permettent également de réduire l'encombrement des hôpitaux pour les "wearable technologies" utilisables facilement à domicile par les patients pour éviter les monitoring en hôpital (ce qui a pour effet d'une part de laisser libres les lits des hôpitaux, et d'autre part d'éviter au patient de se déplacer à l'hôpital où il pourrait potentiellement contaminé ou être contaminé par d'autres patients). [7]

En ce qui concerne les textiles et accessoires qui ont pour vocation de soigner, notamment ceux fonctionnant grâce à des substances encapsulées, le format de dispositif portable tout au long de la journée permet de diffuser le traitement plutôt que de traiter par prise ponctuelle de médicaments. Cela permettrait également d'éviter les risques d'oubli de prise.

ii. Le sport

Les textiles intelligents utilisés dans le domaine sportif sont exclusivement des e-textiles. En effet, pour ce type d'activité, l'utilisateur veut plutôt récolter des données sur ses performances et son état physique qu'apporter une substance à son corps. Les vêtements comportant des capteurs qui permettent de surveiller les mouvements du corps permettent à l'utilisateur de mieux se connaître. Ils peuvent également servir pour le suivi des performances. Ces informations ainsi que la capacité de pouvoir adapter son mode de vie tout en suivant l'évolution des paramètres permet à l'utilisateur de mieux contrôler ses performances et par conséquent de les améliorer.

Un point important également concernant les performances enregistrées par les textiles ou accessoires intelligents est que celles-ci peuvent être généralement partagées sur les réseaux sociaux. Cela induit que les sportifs qui partagent leurs résultats veulent toujours les améliorer, et d'un autre côté les personnes qui voient ces résultats peuvent avoir envie de faire mieux. Ce partage de performance peut aussi valoriser l'utilisateur de l'accessoire connecté.

L'accessoire connecté le plus populaire auprès des sportifs est le bracelet ou la montre connecté, comme la FitBit qui peut enregistrer des données pendant le sport mais également pendant le sommeil grâce à son grand nombre de capteurs qui la rendent très polyvalente. Il existe aussi des équipements intégrant des capteurs, comme des chaussures comportant des semelles connectées qui permettent la mesure du nombre de pas ou de la distance parcourue, ou encore des textiles intelligents, par exemple des t-shirts avec capteurs pour la mesure du rythme cardiaque.



Figure 4 : Bracelet connecté FitBit [8]

Les capteurs les plus utilisés dans les textiles et accessoires connectés pour le sport pour le grand public sont l'accéléromètre, le gyroscope et le GPS. En effet, ceux-ci permettent de fournir les données nécessaires à un suivi de performance, comme la vitesse de course ou encore la distance parcourue. Les données collectées par ces capteurs et leur qualité peuvent dépendre de l'emplacement des capteurs. Par exemple, pour des joueurs de football américains, les capteurs ne sont pas situés au

niveau du poignet, mais plutôt dans des protections qui se trouvent au niveau des épaules et de la tête car ce sont des parties du corps qui sont très impliquées dans ce sport. De la même manière, pour un jogger, les capteurs seront peut-être plutôt situés dans les semelles ou les chaussures car ce sont les parties les plus actives. Cette caractéristique signifie également qu'un même capteur peut mesurer plusieurs choses en fonction de là où il est placé et pour quel sport il est utilisé. Comme nous l'avons vu précédemment, les données sont enregistrées avant d'être transmises par le dispositif intelligent à une application ou un logiciel qui va les traiter. Le système de connexion le plus utilisé pour ce genre d'application pour le grand public est le Bluetooth Low Energy (BLE). En effet, comme l'indique son nom, celui-ci est peu gourmand en énergie pour une bonne fiabilité. De plus, son coût est faible, ce qui est un plus pour les fabricants. [1]

Il y a plusieurs types de vêtement ou accessoire connectés utilisés dans le domaine du sport. Certains dispositifs, comme la FitBit ou les bracelets ou montres connectées en générales, sont souvent portés tout au long de la journée par l'utilisateur. Ils enregistrent alors des données en continu, ce qui permet d'avoir des informations complètes sur l'activité globale de la personne, comme l'activité effectuée dans la journée ou encore les temps de repos. D'autres dispositifs se portent ponctuellement, au moment de faire l'activité physique, comme des semelles connectées que l'on insère dans ses chaussures avant de courir ou un t-shirt intelligent que l'on porte uniquement pour le sport. Au contraire des précédents, ceux-ci ne peuvent pas donner d'information sur le temps de repos ou ce genre de chose, mais ils vont donner des informations plus précises sur l'activité en elle-même, comme la qualité des mouvements effectués par exemple. On aura donc des données plus centrées sur la performance que sur le bien-être global de l'utilisateur. Il existe quand même des texticaments utilisés par les sportifs, comme des textiles qui contiennent des antidouleurs à très petites doses pour soulager les douleurs qui peuvent survenir pendant l'activité physique. On peut aussi trouver des textiles qui jouent un rôle de régulateur de température, avec des microcapsules donnant une sensation de froid ou de chaud au porteur.

L'enjeu avec les textiles et accessoires utilisés dans le sport est de surveiller les performances en évitant au maximum d'entraver les mouvements de l'utilisateur,

c'est pourquoi les textiles et accessoires intelligents utilisés dans ce domaine se doivent d'être légers et peu encombrants.

iii. Les loisirs et la vie quotidienne

Les textiles et accessoires de la vie quotidienne ont souvent des fonctions diverses et variées : lecture de mails ou message, mesure de pouls, podomètre, aller sur internet, ou même jouer parfois. Ceci implique qu'ils comportent souvent beaucoup de capteurs et ils peuvent également comporter plusieurs systèmes de transmission. Ces accessoires prennent souvent la forme d'une montre ou d'un bracelet, pour que l'utilisateur puisse facilement emporter le dispositif partout avec lui.

L'accessoire connecté le plus courant et dont on entend le plus souvent parler est la montre connectée. Comme dit précédemment, les montres et bracelets connectés peuvent être utilisés par les sportifs pour suivre leurs performances, mais ils sont aussi très utilisés par les non sportifs dans la vie de tous les jours. En effet, comme ces dispositifs sont connectés au smartphone de l'utilisateur, celui-ci peut consulter ses mails, ses messages, parfois prendre des appels, faire des recherches sur Internet directement sur la montre sans avoir à sortir son téléphone.

Certains objets, comme les lunettes connectées de Google les Google Glass, étaient à la base destinés à un usage quotidien, comme pourrait l'être la montre connectée, mais ont plutôt trouvé une utilité dans le secteur professionnel. Pour reprendre l'exemple des Google Glass, leur dernière version en date, les Google Glass Enterprise Edition 2, a même été optimisée pour un usage par des professionnels, avec des matériaux plus résistants par exemple. [9]



Figure 5 : Google Glass Enterprise Edition 2 [10]

Enfin, on peut imaginer une utilité pour les textiles et accessoires connectés pour les loisirs. Par exemple, pour les jeux vidéos, on pourrait avoir des systèmes qui permettraient de détecter avec précision les mouvements du joueur pour ensuite les retranscrire dans le jeu. Pour ce genre d'utilisation, on utiliserait le même genre de textile que les sportifs qui souhaitent surveiller leur posture, c'est-à-dire des textiles comportant des capteurs de pression qui est assez sensible pour comprendre précisément le mouvement effectué. Ce genre de dispositifs pourrait être utilisé par exemple en complément d'un casque de réalité virtuelle et ainsi accroître l'immersion du joueur dans l'univers du jeu.

Le Wi-Fi est un système de connexion très utilisé dans les objets connectés du quotidien, comme la montre connectée. Le système de connexion le plus utilisé est cependant le Bluetooth, qui permet de connecter le textile ou l'accessoire n'importe où sans avoir besoin d'internet. De plus, comme nous l'avons vu précédemment, il consomme peu d'énergie et est donc idéal pour des dispositifs utilisés sur des longues périodes.

Un autre type de textile connecté beaucoup moins populaire mais qui peut être utile dans la vie courante : les textiles capables de stocker des données. Ces données peuvent être un code d'identification du textile par exemple. Pour les lire, il suffit de mettre en contact le textile avec un smartphone pour que celui-ci récolte les

informations enregistrées dans le tissu. Ce genre de textile n'a pas besoin de source d'énergie, comme une batterie par exemple, puisqu'il utilise les propriétés ferromagnétiques des fils qui sont directement tissés dans le tissu. Par contre, ces textiles intelligents sont de type passif et ne peuvent pas fonctionner seuls, il faut forcément un magnétomètre (qui est donc souvent contenu dans les smartphones) pour que ces e-textiles soient utiles. [11]

iv. La cosmétique et le bien-être

Dans les domaines de la cosmétique et du bien-être, il existe des textiles intelligents, le plus souvent du type texticaments, donc avec les microcapsules, qui sont utilisés pour le soin de la peau par exemple, ou encore pour avoir un effet amincissant. Pour les textiles plutôt à destination cosmétique, on peut par exemple parler du masque sec en tissu développé par la marque Charlotte Tilbury. Celui-ci est réutilisable plusieurs fois et permet de diffuser les ingrédients de façon prolongée pour que la peau ait le temps de les assimiler. [12] On peut aussi parler des shorts conçus pour aider à mincir, comme celui de la marque Lytess cosmétique qui a une double action avec ses microcapsules contenant des extraits de caféine pour l'effet amincissant, mais également des extraits de mangue pour hydrater la peau. [13]

Pour le bien-être, on va par exemple avoir des textiles pour le soin de l'eczéma. On peut parler de la gamme Dermasilk de Fritsch Medical qui est conçue pour ce type de problèmes de peau. Il existe dans cette gamme toutes sortes de vêtements qui vont donc cibler différentes zones et donc problèmes : eczéma, mycoses... Ce textile est en soie dans laquelle sont intégrées des microcapsules contenant un bactéricide qui va permettre de traiter en surface l'eczéma. [14] Il existe également des textiles qui ne soignent pas forcément mais qui permettent d'apaiser des démangeaisons et irritations dues aux problèmes de peau tels que l'eczéma et le psoriasis. Souvent, ce sont des textiles qui ne contiennent pas de substance encapsulée mais dont l'élément actif est directement tissé dans le tissu. Par exemple, la marque Dooderm propose une gamme de vêtements et accessoires tissés avec 1% de fils d'argent et 99% de coton qui ont ce but. En effet, le fil d'argent possède des propriétés antibactériennes qui rendent le tissu qui contient du fil

d'argent idéal pour les peaux sensibles ou irritées et qui permet d'aider au traitement de l'eczéma et autres problèmes de peaux. [6]

On peut aussi trouver des textiles avec un effet apaisant et déstressant. Ce genre d'utilisation se fait surtout sur le linge de lit par exemple, ou encore sur les pyjamas pour faciliter le sommeil. Ce genre de textile fonctionne également sur le principe de la microencapsulation. Dans ce cas, ce sont des huiles essentielles, comme par exemple l'huile essentielle de lavande, qui sont encapsulées pour se diffuser à petite dose et continuellement pour apaiser le porteur.

Il existe également des e-textiles dont le but premier n'est pas le bien-être mais qui peuvent être détournés pour cette utilisation. On peut parler par exemple du textile actuellement en développement dans les laboratoires de GemTex à Roubaix : ce textile est conçu pour le traitement de l'adénocarcinome, qui est une sorte de tumeur bénigne, lorsqu'il est utilisé en complément d'un principe actif. Ce principe actif a besoin de lumière pour s'activer et ce textile est utilisé pour apporter uniformément la lumière nécessaire. C'est cette fonction du textile qui est également utilisée sans le principe actif par certaines personnes, donc en utilisant uniquement l'apport de lumière, pour une utilisation en luminothérapie.

Nous avons parlé précédemment de textiles régulateurs de température pour les sportifs, mais ce genre de textiles peut être utilisé aussi sans faire d'activité physique pour protéger le corps des températures extérieures. On peut également trouver des textiles qui protègent des UV, qui sont des vêtements en fibres synthétiques qui ont subi un traitement avec des substances semblables à celles contenues dans la crème solaire. Ce type de textile est souvent utilisé pour les enfants, mais il est aussi utilisé par les surfeurs par exemple car il permet de protéger des UV même lorsque le porteur est dans l'eau. [15]

v. La mode

Les textiles intelligents utilisés dans la mode ne s'adressent pas vraiment au grand public mais ils sont plutôt utilisés dans un but artistique. Les fonctions qui sont principalement utilisées dans ce domaine ne sont pas vraiment utiles mais

permettent d'exprimer un concept : émission de lumière en fonction de l'environnement, changement de couleur, mouvement du vêtement... Ces fonctions particulières n'intéressent pas la majorité des consommateurs et c'est la raison pour laquelle on ne voit pas de textile intelligent dans les magasins de prêt-à-porter. De plus, celles-ci ont un coût que le grand public n'est pas prêt à mettre dans des vêtements. En effet, l'ajout de composants électroniques et de fonctionnalités diverses dans des vêtements de prêt-à-porter augmenterait forcément grandement leur prix, hors les designers ne pensent pas que les clients seraient prêts à payer beaucoup plus cher un produit simplement parce qu'il peut s'illuminer par exemple. [16]

Même parmi les créateurs, il n'y en a aujourd'hui que peu qui s'intéressent aux textiles intelligents dans le domaine de la mode. Dans la haute couture, ce n'est pas vraiment une question de prix, mais plutôt une question de compatibilité avec le design. En effet, même si les fonctionnalités des textiles intelligents peuvent apporter une originalité au vêtement et le faire se démarquer, il ne faut pas que ces fonctionnalités nuisent au design global de la pièce. Cependant, certains stylistes ont su intégrer l'électronique dans leurs designs pour créer des pièces fortes avec un concept, comme Ying Gao, une designer et artiste textile qui questionne la notion de vêtement à chacune de ses collections en alliant le design et le média interactif. On peut citer ses créations "Can't" et "Won't", deux robes qui réagissent aux expressions faciales de la personne qui la porte. Lorsque le vêtement ne détecte aucune expression, celui-ci se met à bouger. [17]



Figure 6 : Robes Can't (à gauche) et Won't (à droite) qui réagissent aux mouvements de la personne qui la porte [17]

Les textiles intelligents dans le domaine de la mode ont un effet limité pour l'amélioration de la vie quotidienne de la population, mais ils permettent cependant d'exprimer artistement des concepts qui ne peuvent pas être exprimés avec un vêtement classique, quel que soit son design. Ils sont destinés à un public très restreint de passionnés de mode et de technologie.

Si les textiles et accessoires intelligents continuent de se développer dans tous ces domaines, je pense cependant que le secteur de la santé est celui pour lequel ils ont le plus de potentiel en terme d'évolution dans le futur et d'utilité pour la population en générale, que ce soient les textiles, accessoires et même les objets intelligents.

B. Les textiles intelligents dans le domaine médical

Dans le domaine de la santé, les dispositifs intelligents, que ce soit les vêtements, les accessoires portables mais aussi les objets connectés, peuvent avoir un réel avantage par rapport aux méthodes utilisées habituellement. Leur variété leur permet de remplir toutes sortes de fonctions comme suivre en continu un patient atteint d'une pathologie cardiaque par exemple, apporter une assistance au quotidien aux personnes qui en ont besoin, comme les personnes âgées ou handicapées, ce qui pourrait même les aider à reprendre leur autonomie, on pourrait aussi suivre les patients qui suivent un traitement pour vérifier que celui-ci est efficace et il existe même des dispositifs dont le but premier est de soigner le porteur. Ces nouvelles technologies combinées aux téléconsultations vont permettre de développer de plus en plus la télémédecine dans le futur.

a. Les vêtements intelligents

Dans la médecine, les textiles intelligents utilisés se présentent principalement sous la forme de t-shirts. Ceux-ci peuvent être de deux types, soit des e-textiles ou des texticaments. Les e-textiles sont utilisés pour du monitoring grâce à différents capteurs mais aussi pour du soin alors que les texticaments sont eux exclusivement utilisés pour du soin, généralement grâce à des substances médicamenteuses. Les textiles intelligents dans la santé sont souvent considérés comme des dispositifs médicaux et sont remboursés. Cela peut s'expliquer par le fait que ce ne sont pas des dispositifs que le patient va acheter de lui-même mais qui sont plutôt prescrits par le médecin.

Le type de dispositifs intelligents le plus utilisé en médecine, qui est également le plus utilisé en général, est l'e-textile. Comme dit précédemment la principale fonction pour laquelle ceux-ci sont utilisés est le monitoring. Cela peut être du monitoring nécessaire au suivi d'une pathologie d'un traitement, mais il peut aussi servir en tant que prévention : si le patient a des prédispositions cardiaques par exemple, il peut être utile de suivre régulièrement son rythme cardiaque. Pour assurer ces fonctions, le textile a besoin de mesurer des constantes physiques, c'est pourquoi il faut des capteurs intégrés au vêtement. Le format le plus connu pour ceux-ci est le patch : il est généralement collé à même la peau et ne bouge plus une fois en place.

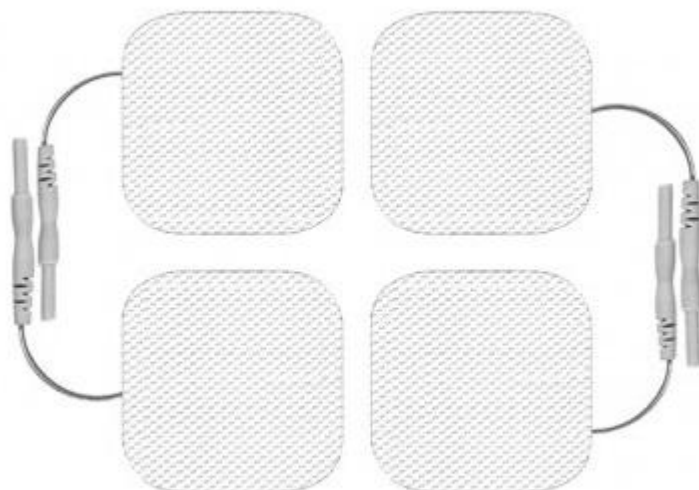


Figure 7 : Exemple de capteur sous forme de patch

Mais il existe d'autres types de capteurs qui rendent le textile plus ou moins épais selon la technologie utilisée. Par exemple, certains textiles comme le Cardioskin de BioSerenity ne possèdent pas de capteur ajoutés au textiles, ce sont directement les fils textiles qui servent de capteurs. Cette technologie permet au textile de ne pas être plus épais qu'un vêtement classique et de passer inaperçu sous une chemise ou un t-shirt. Les vêtements connectés peuvent être dotés de divers capteurs, ce qui permet de diversifier les constantes qui sont mesurées. En effet, il est possible de suivre le rythme cardiaque comme le rythme respiratoire selon si on utilise des capteurs cardiaques ou de pressions, qui permettent de détecter les mouvements de la poitrine et donc de déterminer le rythme de la respiration.

Les texticaments, de la même manière qu'ils sont utilisés pour le bien-être et la cosmétique avec des huiles essentielles et parfums encapsulés par exemple, peuvent être utilisés dans un but médical si ce sont des substances actives qui sont encapsulées. On peut par exemple trouver des vêtements qui traitent entre autres l'eczéma, comme les produits de la marque Fritsch Medical. La gamme Dermasilk propose plusieurs types de vêtements, comme des t-shirts, des sous-vêtements ou encore des gants, fabriqués en soie sur laquelle est fixée un agent antimicrobien qui va permettre de traiter l'eczéma mais également d'autres problèmes de peau comme les mycoses génitales (avec les sous-vêtements) ou l'acné (avec un format cagoule). [14] Ce type de textiles permet de soigner sans la contrainte de devoir appliquer une crème régulièrement. De plus, l'agent présent dans ce tissu se diffuse

en continu tout au long de la journée, il n'a donc pas besoin d'être agressif pour être efficace. C'est donc un traitement qui sera plus doux et aura moins d'effets secondaires que les crèmes et traitements utilisés habituellement pour ce genre de problèmes.

b. Les accessoires connectés

Les accessoires intelligents peuvent être utilisés pour la même fonction que les vêtements, comme par exemple pour le monitoring, en étant moins invasif que ces derniers, mais ils peuvent également servir d'autres fonctions comme l'accompagnement au quotidien des patients. En revanche, il n'y a pas vraiment d'accessoires intelligents qui sont destinés au soin. Comme pour les textiles, il y a des accessoires intelligents qui sont considérés comme dispositifs médicaux et qui doivent donc être prescrits mais ça n'est pas le cas de tous, comme par exemple les bracelets connectés.

De manière générale, les montres et bracelets connectés qui sont utilisés par les sportifs peuvent recueillir des données sur le rythme cardiaque et sur le taux d'oxygénation, ils peuvent donc également servir dans un but médical. Cependant, ces accessoires ne sont pas reconnus comme des dispositifs médicaux. Mais certains cherchent à être approuvés par les autorités de santé, comme l'Apple Watch 4 qui a été approuvée par la FDA américaine début 2019. Aujourd'hui, la communication pour la dernière Apple Watch, l'Apple Watch Series 6, est même centrée sur sa capacité à mesurer la saturation en oxygène par exemple. [18] Mais si les montres et bracelets connectés sont moins contraignants à porter que les t-shirts qui ont la même fonction de monitoring, ils sont souvent moins précis car la collecte de données ne se fait pas en continu mais à des moments ponctuels choisis par le porteur.

On peut aussi trouver d'autres accessoires que les bracelets pour faire différents types de monitoring. Il existe par exemple un bandeau ventral conçu pour la femme enceinte qui sert à monitorer le rythme cardiaque du fœtus pour s'assurer de sa santé tout au long de la grossesse. On peut également utiliser ce dispositif pendant l'accouchement pour surveiller le bien-être de l'enfant. En comparaison avec les

systemes habituels de surveillance, ce dispositif est moins contraignant pour la future mère puisqu'il n'y a pas de fil qui relie le bandeau à un écran. En effet, celui-ci est doté d'un système de connexion sans fil ce qui lui permet de ne pas entraver les mouvements de la patiente. [19] Il y a également d'autres dispositifs qui peuvent être achetés directement par les utilisateurs et qui servent à faire du suivi, pour analyser et améliorer la qualité de leur sommeil par exemple. C'est le cas du bandeau pour la tête de la marque Dreem, qui n'est pas un dispositif médical, mais qui est tout de même utilisé lors d'études cliniques, ce qui prouve sa fiabilité et son efficacité. [20]



Figure 8 : Bandeau pour l'analyse du sommeil Dreem [20]

Il y a aussi des accessoires qui ne servent pas vraiment à soigner mais plutôt à accompagner les patients dans leur vie quotidienne. On peut citer la Balance Belt de la marque Elitac Wearables qui est une ceinture conçue pour aider les personnes avec des problèmes d'équilibre. En effet, elle peut leur permettre de se déplacer sans besoin d'assistance ou d'une canne.



Figure 9 : Balance Belt de Elitac Wearables [21]

Cette ceinture permet à la personne qui la porte de mieux positionner son corps, mais elle apporte également un maintien qui permet de renforcer l'équilibre général du patient. Pour cela, elle utilise le principe du retour haptique : en effet, en réponse à une certaine action, le bandeau va émettre des vibrations. Dans le cas de la Balance Belt, un accéléromètre va détecter si l'utilisateur se penche, ce qui pourrait indiquer une perte d'équilibre, et le dispositif va vibrer pour alerter ce dernier sur sa posture. Le porteur va donc se redresser de lui-même et, au fur et à mesure du port régulier de la ceinture, la correction de la posture deviendra même automatique et inconsciente. [21]

c. Les objets intelligents

Outre les textiles et accessoires intelligents qui sont portés par les patients, on peut trouver des objets qui peuvent également améliorer les soins et le suivi de la santé. Parmi eux, on peut citer les objets connectés, qui permettent au médecin de recevoir des informations sur ses patients sans que ceux-ci ne se déplacent en consultation, mais on peut aussi trouver des textiles avec des traitements particuliers qui sont conçus pour être utilisés dans les milieux hospitaliers.

En termes d'objets connectés, on peut par exemple trouver des balances connectées comme la balance MyScale de Visiomed. Celle-ci permet de mesurer distinctement les masses hydrique, grasseuse, osseuse et musculaire ce qui permet

non seulement de suivre l'évolution du poids de la personne, mais également de contrôler les facteurs de risque cardio-vasculaire. Le fait que la balance soit connectée permet de transmettre toutes ces informations directement au médecin pour que celui-ci puisse suivre ses patients à distance. Ce genre de dispositif peut être utilisé pour les personnes souffrant d'obésité par exemple. [22]

On peut aussi trouver des textiles avec des substances encapsulées mais qui ne sont pas des vêtements, comme des draps bactéricides. Ceux-ci fonctionnent sur le même principe que les texticaments et contiennent des microcapsules contenant un agent qui permet de tuer les bactéries potentielles et ainsi éviter une prolifération. C'est un type de textile qui peut être très utile pour les hôpitaux où tout se doit d'être le plus propre et stérile possible.

Il existe donc toutes sortes de dispositifs intelligents qui peuvent faciliter le monitoring et parfois les traitements à la fois pour le professionnel de santé mais aussi pour le patient. Mais pour comprendre concrètement les changements apportés par ces nouvelles technologies, il faut étudier plus précisément un des ces dispositifs.

C. Étude d'un textile intelligent utilisé dans le domaine médical : le Cardioskin de BioSerenity

Lors de mon étude de terrain, j'ai eu la chance de pouvoir m'entretenir avec Jérémy Martin qui est product manager sur le produit Cardioskin. J'ai donc voulu analyser plus en détails ce dispositif. Le Cardioskin est un t-shirt intelligent développé par l'entreprise BioSerenity en partenariat avec WeHealth by Servier pour améliorer le diagnostic et le suivi des troubles cardiaques. Nous allons étudier ici plus en détail ce dispositif pour voir son fonctionnement, ses avantages mais également ce qui pourrait être amélioré.

a. Le fonctionnement détaillé

Le Cardioskin est un e-textile qui permet de réaliser des Électrocardiogrammes (ECG) 15 dérivations en continu. Ce textile ne comporte pas de capteur de type patch, il est composé de fils d'argent qui sont conducteurs et qui vont donc servir de capteurs. L'avantage de ce type de capteurs est que ceux-ci sont toujours placés au bon endroit, contrairement aux capteurs patch qui peuvent être recollés au mauvais endroit par la patient, ce qui peut fausser les mesures prises par le dispositif et donc fausser complètement le monitoring.



Figure 10 : T-shirt connecté Cardioskin par BioSerenity [23]

La liaison entre les capteurs et la peau se fait sans avoir besoin d'appliquer une crème pour améliorer le contact et donc la qualité du signal. En effet, lors du lavage du textile, les électrodes se gorgent d'eau et vont la relâcher entre le textile et la peau pour favoriser le contact des capteurs. L'eau stockée met environ 48h à être

totallement épuisée, il faut donc passer le Cardioskin en machine toutes les 48h pour “recharger” les électrodes en eau.

Concernant les données connectées, le Cardioskin est doté d'un enregistreur qui va les stocker en attendant que celles-ci soient transmises à l'application mobile qui est accessible par le patient mais aussi par le médecin. Pour le patient, l'application permet de démarrer et d'arrêter l'enregistrement des données, de vérifier si l'emplacement des électrodes est correct, ce qui est pratique pour assurer une qualité de données optimale, mais elle permet également au patient de signaler s'il ressent des symptômes anormaux. Cette dernière fonction est aussi accessible directement sur le t-shirt grâce à un bouton qui va automatiquement envoyer la notification. Pour le médecin, l'application permet de pouvoir visualiser en direct les signaux acquis par le dispositif dès que les données sont transmises. La transmission de l'enregistreur à l'application se fait par Bluetooth, puis le textile est placé sur un dock qui, par wifi, va télécharger les données sur un cloud selon deux modes de transmission : celle-ci peut se faire au fur et à mesure de la collecte des données, ou alors à la toute fin de l'enregistrement, c'est-à-dire pendant la nuit par exemple. C'est ensuite grâce au cloud que le professionnel de santé peut consulter les données pour les analyser.

Pour faire fonctionner tous ces composants électroniques, il faut de l'énergie électrique qui est fournie par la batterie intégrée. Celle-ci possède une autonomie de 24 heures qui lui permet de tenir toute la journée et d'être rechargée la nuit. Pour faciliter l'entretien du Cardioskin et permettre le passage en machine, la batterie et l'enregistreur sont amovibles et se fixent sur le t-shirt grâce à des boutons pressions qui les rendent faciles à retirer et à remettre. [23]

b. Les bénéfices du produit

Le t-shirt connecté Cardioskin à deux principaux objectifs : permettre le monitoring sur de longues périodes sans l'inconvénient des irritations qui peuvent être causées par les capteurs patch tout en étant ambulatoire, et garantir un diagnostic le plus exact possible. En effet, le côté ambulatoire du dispositif permet la prise d'ECG, à domicile ou en milieu hospitalier, tout en continuant de vivre normalement. Il offre

donc la possibilité de faire un suivi sur le long terme, qui peut aller de 14 jours à 30 jours, sans interférer dans la vie quotidienne du patient ni prendre de place dans les hôpitaux, où, comme nous l'avons vu notamment pendant la crise sanitaire, les lits sont précieux. La longue durée des enregistrements est également permise par l'absence de colle qui pourrait irriter la peau, comme lorsqu'on utilise des capteurs en patch. De plus, les fibres textiles conductrices qui sont utilisées pour remplacer les capteurs patch permettent un meilleur confort que ces derniers, d'une part parce qu'ils se fondent parfaitement dans le textile et ne donne donc pas l'impression d'être monitoré, et d'autre part car il n'y a pas de fil qui relie les capteurs à l'enregistreur et à la batterie, ceux-ci sont également intégrés dans le tissu, contrairement aux capteurs patch qui ont besoin d'être connectés par des fils aux autres éléments électroniques.

L'utilisation de ce type de capteurs permet aussi d'assurer le bon placement de ces derniers, ce qui assure donc l'exactitude du diagnostic. En effet, pour les monitoring qui durent plusieurs jours, c'est le patient lui-même qui s'occupe de la mise en place du dispositif. Avec les capteurs à patch, le risque est qu'ils ne soient pas placés au bon endroit, qu'ils ne soient pas placés toujours au même endroit ou même qu'une des électrodes ne soit pas remplacée par oubli, ce qui est problématique pour établir un diagnostic puisque les données récoltées ne correspondent pas à la même chose jour après jour. Ce problème est évité avec le Cardioskin et les autres e-textiles équipés de fibres conductrices : comme le textile est ajusté à la silhouette du porteur, les capteurs intégrés au textile se placent automatiquement à l'endroit souhaité. On est donc assuré d'avoir des données qui correspondent toujours à la même mesure.

La capacité du Cardioskin à pouvoir transmettre les données directement au médecin est un avantage pour les patients qui n'ont donc pas besoin de se déplacer pour une consultation, mais cela permet également à ce t-shirt connecté d'être utilisé pour des études cliniques. En effet, le fait de ne pas avoir besoin de recevoir tous les utilisateurs du textile pour avoir les informations rend le Cardioskin idéal pour le suivi simultané de plusieurs personnes. Le dispositif peut intervenir dans plusieurs étapes de l'étude : on peut l'utiliser pour la sélection des participants, durant laquelle on peut suivre plusieurs personnes pour déterminer quels profils correspondent le mieux à ceux recherchés pour l'étude, mais on peut aussi l'utiliser pendant l'étude si

celle-ci nécessite des données cardiovasculaires régulières sur les personnes. On peut aussi utiliser le Cardioskin pour suivre des patients qui prennent un traitement pour vérifier si celui-ci est efficace et adapté aux besoins de la personne. De plus, grâce à la fonction de notification sur l'application ou directement sur le textile, tous les porteurs peuvent signaler le plus tôt possible les problèmes ou les symptômes qui peuvent survenir. Le médecin a donc les informations rapidement et, peu importe le nombre de personnes qu'il a à suivre, il peut aider le patient ayant signalé un problème dans les plus brefs délais.

Le Cardioskin peut être acheté par les centres hospitaliers pour être ensuite prêté ou loué aux patients à monitorer. Cependant, un monitoring long peut être contraignant pour les médecins qui vont avoir beaucoup plus de données à analyser que pour les ECG classiques, de plus il faut former les patients à l'utilisation du dispositif... C'est pour cette raison que la société BioSerenity propose également un service qui comprend la location du Cardioskin, mais également la formation du patient en début de monitoring, son suivi tout au long de l'utilisation du produit, et enfin l'analyse des données collectées par un médecin au sein de l'entreprise BioSerenity. L'hôpital n'a donc rien à gérer et récupère seulement les résultats déjà analysés de la totalité de la période de monitoring. Cette option est parfois proposée par les entreprises qui vendent les textiles intelligents, et sont appréciées par les centres hospitaliers car ils n'ont pas à investir dans l'achat du dispositif et le monitoring est plus simple à gérer et ne prend pas le temps des médecins de la structure.

c. Les pistes d'amélioration possibles

Si ce textile possède déjà de nombreux avantages, les recherches à son sujet continuent car il est toujours possible d'apporter des améliorations, que ce soit dans le fonctionnement du produit, sa qualité, ou encore dans l'expérience utilisateur.

Un des inconvénients de l'utilisation du Cardioskin est son prix. En effet, ce dispositif n'est pas vendu directement à l'utilisateur mais il est vendu aux hôpitaux qui le prêtent ou le louent aux patients. Le prix du produit en lui-même n'a donc pas d'impact sur l'utilisateur, car celui-ci paie seulement la prestation de l'ECG. Cependant, le remboursement du monitoring avec le Cardioskin est le même que

pour un ECG classique, alors qu'avec le dispositif le suivi peut durer jusqu'à 30 jours contre maximum 24 heures pour un monitoring comme on le fait souvent aujourd'hui. Le prix n'est évidemment pas le même car, même si le dispositif de monitoring est le même, rien que le fait que le médecin doive analyser plus de données augmente le coût du suivi. Ceci peut dissuader le patient de choisir un monitoring longue durée plutôt qu'un suivi plus court. Il faudrait donc améliorer le remboursement pour que celui-ci soit proportionnel au temps de monitoring.

Un autre désagrément qui a été rapporté par les utilisateurs du Cardioskin est son manque de confort. En effet, il est difficile de porter ce dispositif plus de 30 jours d'affilée car les fibres conductrices qui constituent le textile, même si elles sont plus souples que des capteurs en patch, rendent le vêtement assez rigide. De plus, il faut que les données récoltées soient le plus justes possible, il faut donc que le signal soit de bonne qualité. Pour cela, le cardioskin est assez prêt du corps ce qui peut également être inconfortable pour certaines personnes. Il est donc nécessaire d'améliorer ce confort pour pouvoir allonger les durées de monitoring, ce qui pourrait être utile pour comprendre encore mieux les pathologies et donc peut-être mieux les traiter.

Enfin, comme je l'ai dit précédemment, le Cardioskin utilise des capteurs composés de fibres textiles conductrices qui sont plus agréables que les capteurs patch pour le porteur, mais qui sont cependant assez fragiles. En effet, celles-ci peuvent se briser, notamment lors de l'entretien. Cependant le passage en machine est nécessaire pour que cet e-textile soit efficace. Pour que sa durée de vie soit allongée, c'est donc sur la résistance des fibres à l'entretien qu'il faut jouer. Aujourd'hui, le textile ne peut pas supporter plus de 30 lavages avant d'être inutilisable, ce qui correspond à environ deux périodes de monitoring de 30 jours. Cette courte durée de vie peut être un frein pour les hôpitaux à investir dans ce dispositif plutôt que de continuer à utiliser les méthodes d'examen habituelles qui, certes, fonctionnent également, mais sont moins rigoureuses et moins pratiques.

Après avoir eu un aperçu global sur les textiles intelligents, ceux à quoi ils peuvent être utilisés et des exemples précis de dispositifs utilisés de nos jours, j'ai voulu analyser le marché présent et futur de ces textiles et accessoires intelligents au

travers de deux points de vue différents : les consommateurs, que ceux-ci utilisent ou non ce genre de technologies, et les professionnels, issus de la recherche et du monde de l'entreprise.

II. Mieux comprendre l'évolution du marché des textiles intelligents : deux approches terrain différentes

Le but des deux études de terrain effectuées est le même : comprendre le marché actuel des textiles intelligents et sa potentielle évolution dans le futur. J'ai trouvé intéressant d'étudier à la fois le point de vue de la population globale et le point de vue de professionnels du sujet. Ces deux points de vue sont complémentaires et permettent de comprendre le mieux possible le marché des textiles intelligents. Il est important pour avoir une vision complète du marché de se mettre à la place des consommateurs et également des professionnels qui travaillent au développement et à la vente de ces produits.

A. Une étude quantitative auprès du grand public

Une étude quantitative se présente généralement sous la forme d'un questionnaire qui est proposé à un échantillon de la population étudiée et dont les résultats sont ensuite étendus à l'entièreté de cette population. Cette étude a pour but l'étude des comportements, des attentes ou des opinions des personnes composant cette population. [24] Dans le cas de l'étude quantitative réalisée dans ce mémoire, le but était principalement de recueillir l'avis des consommateurs sur les textiles et accessoires intelligents, mais également leurs suggestions pour l'amélioration de ces derniers.

a. La création du questionnaire

J'ai décidé de réaliser une étude quantitative assez générale sur les textiles intelligents auprès de toute la population. La première raison de ce choix de cible est d'avoir le plus grand nombre de réponses possible. En effet, un grand nombre de réponses permet d'avoir la vision la plus globale possible sur l'ensemble de la population. Il était également important pour moi d'avoir des réponses de personnes de toutes tranches d'âge, car la connaissance des nouvelles technologies par les moins de 30 ans par exemple n'est pas la même que pour les plus de 65 ans.

L'objectif de ce questionnaire général était d'évaluer dans un premier temps la connaissance des textiles intelligents par la population, c'est-à-dire par les potentiels utilisateurs de ces technologies. J'ai également souhaité connaître leur avis sur l'utilisation de ces textiles et sur les textiles intelligents en général.

Tout d'abord, il est important d'introduire le questionnaire aux participants avec un paragraphe explicatif dans lequel je me présente et je présente le questionnaire. Cela permet aux participants de comprendre l'enjeu de leur participation et également de les rassurer sur l'utilisation de leurs réponses. Le questionnaire que j'ai réalisé était bien sûr anonyme, puisqu'il s'agissait d'avoir une vision globale et non pas d'analyser les réponses de chaque personne individuellement, et les données utilisées uniquement dans le cadre de ce mémoire.

Je voulais pour ce questionnaire quelque chose qui se fasse rapidement, et donc avec un nombre restreint de questions. J'ai donc choisi de créer 16 questions, toutes à choix multiples sauf les deux dernières qui demandent un avis plus général. J'ai également fait le choix de ne mettre que très peu de questions obligatoires, notamment pour les questions ouvertes. Seules les questions nécessaires à l'analyse sont obligatoires pour valider le questionnaire. En effet, la personne qui participe n'a pas forcément de réponse à donner et peut abandonner complètement le questionnaire.

J'ai réalisé ce questionnaire grâce à l'outil Google Form car c'est un outil simple à prendre en main qui permet de réaliser rapidement et facilement des questionnaires et de les partager.

b. La diffusion et la récupération des réponses

Pour le partage du questionnaire, je me suis d'abord tournée vers l'université. Grâce aux listes de diffusion par mail, le questionnaire a rapidement été partagé à l'ensemble de la promotion à l'Ilis. Je l'ai ensuite partagé sur Facebook : cela a permis de le partager à mon entourage, proche mais également plus éloigné, en une seule fois. De plus, Facebook permet aux participants du questionnaire de le

partager à leur tour à leurs collègues, leurs amis, ce qui m'a permis de toucher un plus grand cercle et une plus grande diversité de personnes.

Les participations au questionnaire ont été autorisées durant trois semaines pour permettre à un maximum de personnes de répondre sans être pressé. Au total, 261 participations ont été enregistrées. Grâce aux différents partages dont je parlais précédemment, les profils des participants étaient assez variés, que ce soit par la tranche d'âge ou encore par la catégorie socio-professionnelle. Cependant, le partage par le biais de l'université a eu pour résultat une grande proportion de 18-25 ans dans les répondants, j'ai donc dû adapter mon analyse des réponses pour ne pas fausser les résultats de l'étude.

B. Des entretiens individuels avec des professionnels du domaine

Une étude qualitative se déroule sous la forme d'entretiens, que ceux-ci soient collectifs ou individuels. Le but de ce genre d'étude est de récolter des informations assez précises qui sont souvent non chiffrables pour analyser un avis précis ou des explications par exemple. [25] Pour ce mémoire, j'ai souhaité réaliser une étude qualitative pour compléter mon analyse du marché des textiles et accessoires intelligents par des informations provenant d'experts du domaine. L'objectif était de mieux comprendre le côté recherche de ces dispositifs et avoir également des avis sur le futur de ceux-ci.

a. La réalisation du guide d'entretien

Pour le guide d'entretien, j'ai pensé en premier lieu à un guide général avec lequel je pourrais interviewer autant des chercheurs que des responsables marketing, ou encore des ingénieurs de recherche. Je me suis rapidement rendu compte que les questions à poser à chacun pouvaient être très différentes, et j'ai donc décidé de créer un guide d'entretien spécifique pour chaque personne que je devais rencontrer.

Ces guides sont composés de questions très ouvertes pour laisser l'interviewé parler le plus possible. Ce type de questions m'a permis d'avoir les réponses que je souhaitais mais également d'avoir des informations sur d'autres sujets auxquels je n'avais pas pensé en créant mon guide.

Les questions sont organisées de la plus éloignée du sujet, comme des questions sur la personne interrogée et son travail, pour aller vers des questions plus tournées sur les textiles intelligents, le marché, les avantages et inconvénients de ces produits et également des avis personnels sur les évolutions du marché et de ces textiles.

Pour le guide de mon second entretien, celui-ci a été créé en même temps que le guide pour le premier, mais il a été amélioré grâce à l'expérience de l'entretien déjà effectué. J'ai donc pu reformuler des questions qui en avaient besoin, ajouter des questions auxquelles je n'avais pas pensé mais qu'il me semblait pertinent d'ajouter à mon guide pour obtenir plus d'informations.

b. La réalisation des entretiens

Comme je l'ai dit précédemment, il est important pour bien comprendre le marché des textiles d'avoir le point de vue de professionnels en plus de celui des consommateurs. C'est pourquoi j'ai voulu rencontrer des professionnels, comme des chercheurs dans le domaine des textiles intelligents ou encore des personnes travaillant dans des entreprises commercialisant ce genre de produits. Avec le contexte sanitaire actuel, je n'ai pas pu réaliser autant d'entretiens que je l'aurais souhaité. En effet, l'idéal aurait été de faire environ 5 entretiens pour avoir un panel de professionnels assez variés (chercheurs, marketing, ingénieurs, ...). J'ai finalement été en contact avec 2 professionnels du secteur des textiles intelligents : Guillaume Tartare, chercheur au laboratoire GemTex à Roubaix et enseignant à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles (ENSAIT) à Roubaix également, et Jérémy Martin, chef de projet du produit Cardioskin de la marque BioSerenity. Il me paraissait important d'avoir des acteurs de milieux différents, ici le milieu de la recherche et le milieu plutôt industriel, pour avoir des regards différents sur les textiles intelligents.

Nom de la personne	Profession	Etablissement	Durée de l'entretien
Guillaume Tartare	Enseignant Chercheur	Laboratoire Gemtex et ENSAIT (Roubaix)	20 minutes
Jérémy Martin	Product Manager	Entreprise BioSerenity (Paris)	17 minutes

Tableau 2 : Profils des personnes rencontrées lors de la phase terrain

N'étant pas en contact au quotidien avec des personnes travaillant dans le milieu des textiles intelligents, j'ai contacté plusieurs personnes par différents moyens avant d'obtenir les entretiens que j'ai réalisés. Pour Guillaume Tartare, celui-ci étant enseignant-chercheur dans l'agglomération lilloise, j'ai facilement pu trouver son adresse mail universitaire et le contacter ainsi. Pour les personnes plutôt issues du monde de l'industrie des textiles intelligents, il était plus difficile de les contacter. En effet, trouver des noms de personnes à contacter était simple, sur le site de

l'entreprise dans la section notre équipe par exemple, mais il est plus compliqué de trouver un contact. Je suis donc passée par LinkedIn pour contacter ces professionnels, comme Solène Rousseau, diplômée d'Ilis et ingénieure d'application dans l'entreprise Bioserenity, qui m'a donné le contact d'un de ses collègues qu'elle pensait plus apte à répondre à mes questions, Jérémy Martin. J'ai donc ensuite pu le contacter via son adresse mail pour prendre un rendez-vous pour un entretien.

Ces deux entretiens ont été réalisés principalement pendant le troisième confinement ce qui a rendu difficile les entretiens physiques. C'est donc à distance grâce à la visioconférence, et plus précisément avec le logiciel Zoom, que j'ai pu rencontrer ces personnes. Le fait que ces entretiens se soient déroulés à distance a été une contrainte, puisqu'il m'aurait été possible de visiter les laboratoires de recherches par exemple et de voir des prototypes de textiles en développement, ce qui m'aurait permis d'avoir une vision plus concrète de ces produits et de leur fonctionnement. Mais le système de visioconférence m'a permis en parallèle de contacter des personnes qu'il n'auraient pas été possible de rencontrer en présentiel, comme Jérémy Martin par exemple, qui travaille pour l'entreprise BioSerenity à Paris. De plus, le logiciel Zoom m'a permis de facilement enregistrer les entretiens afin que je puisse les retranscrire pour les analyser plus en détail par la suite. Le déroulement de ces entretiens était plutôt simple : je commençais par me présenter à mon interlocuteur, ainsi que présenter mon sujet et le but de cet entretien, puis je continuais avec les questions que je devais poser, de la plus générale à la plus précise de la même manière qu'a été conçu le guide d'entretien.

C. Méthode d'analyse des deux études de terrain

Les deux études de terrain réalisées étaient destinées à donner des informations complémentaires sur des sujets similaires, avec deux points de vue différents, il m'a donc paru plus rigoureux d'analyser ces études ensemble plutôt que de les séparer et de faire une conclusion générale à la fin.

Pour l'analyse des réponses au questionnaire, j'ai décidé de ne pas analyser tous les résultats en même temps mais de les classer par tranche d'âge pour voir si ces facteurs avaient un impact sur la connaissance ou non des textiles intelligents. De plus, de part le partage par le biais de l'université, la proportion de participants appartenant à la tranche d'âge 18-25 ans et/ou à la catégorie socio-professionnelle étudiant représente environ 70% des réponses. Hors, ce pourcentage n'est pas représentatif de la population française, il est donc plus juste d'analyser les données en les classant au préalable. J'ai donc réalisé des graphiques (annexe I.B) pour chaque question du questionnaire qui le permettait en fonction de chaque tranche d'âge pour pouvoir comparer les réponses par génération avec les réponses globales.

Pour l'étude qualitative, la première étape pour l'analyse des réponses récoltées lors des entretiens individuels est la retranscription de ceux-ci. Il a ensuite été plus facile de relire toutes les réponses obtenues et de les classer. Le guide d'entretien réalisé au préalable m'a aidé dans cette étape car il contenait les thèmes que je souhaitais aborder dans mon mémoire, j'étais donc sûre d'avoir les informations dont j'avais besoin. Lors des entretiens, des thèmes auxquels je n'avais pas pensé mais qui étaient tout aussi intéressants sont apparus, je les ai donc intégrés à mon analyse de terrain. Une fois les thèmes repérés, j'ai relu les entretiens en triant les informations selon ces thèmes en utilisant des couleurs pour surligner les citations qui correspondent aux différents sujets. Ces citations m'ont ensuite servi pour illustrer les explications et également pour appuyer mon propos.

Le fait d'avoir rassembler les deux études de terrain lors de l'étape de l'analyse m'a permis de faire directement le parallèle entre les informations données par les consommateurs et celles données par les professionnels et ainsi savoir si ces deux visions se rejoignent ou pas.

III. Analyses des études de terrain

Comme vu précédemment, pour cette analyse j'ai choisi de rassembler les deux études de terrain. J'ai plutôt diviser cette analyse entre le marché actuel des textiles intelligents et le futur de ce marché pour mieux comprendre les évolutions qu'il y a eu pour ces textiles, ce que le consommateurs en attend aujourd'hui et les changements que la recherche prévoit pour demain sur ce marché, que ce soit du point de vue des professionnels ou des utilisateurs de ces produits.

A. Le marché et les attentes actuels concernant les textiles intelligents

Le marché actuel des textiles et accessoires intelligents est assez vaste de nos jours, compte tenu de la diversité des applications de ces dispositifs et des domaines d'application. Cependant, ce ne sont pas des dispositifs dont on entend souvent parler. J'ai donc voulu connaître l'avis des consommateurs mais aussi des professionnels sur les textiles intelligents de nos jours.

a. La connaissance des textiles et accessoires intelligents

Parmi les personnes ayant répondu au questionnaire, l'accessoire intelligent le plus populaire est la montre connectée sans surprise, avec près de 98% des répondants qui connaissent cette technologie. Les montres et bracelets connectés sont les accessoires dont les consommateurs ont le plus entendu parler et même possèdent le plus. En effet, la montre est un accessoire couramment porté par des personnes de toutes générations, c'est donc l'accessoire connecté qu'il est le plus simple d'introduire dans le quotidien. De plus, ils sont souvent connus par les sportifs qui les utilisent pour suivre leurs performances, et c'est d'ailleurs pour cet usage qu'environ 80% des porteurs possèdent une montre ou un bracelet connecté. Le deuxième type de textile le plus connu est les textiles connectés, et le plus souvent les textiles connectés pour faire du sport également, dont 37% des personnes interrogées ont entendu parler. Les autres types de textiles intelligents, tels que les texticaments, sont loin derrière, avec seulement 15% de personnes qui connaissent ce genre de technologies.

En effet, nous sommes dans une aire où l'Internet des Objets se développe de plus en plus, que ce soit dans le domaine des "wearables" - c'est-à-dire les vêtements et accessoires - ou dans les objets divers, comme les objets connectés pour la maison : interrupteurs et ampoules connectés, volets contrôlables à distance grâce à une application, systèmes de sécurité également reliés à une application mobile. Aujourd'hui, la majorité de la population possède un smartphone, ce qui explique la montée en puissance de ce genre de technologies. Il est donc logique que les e-textiles soient plus connus que les textiles contenant des substances actives.

b. L'utilisation de ces nouvelles technologies

La raison la plus fréquente pour laquelle les personnes connaissant les textiles intelligents n'en possèdent pas est que le consommateur n'en voit pas l'utilité. Ceci peut exprimer deux choses : les textiles et accessoires intelligents ne correspondent pas aux besoins des utilisateurs, ou les utilisateurs ne connaissent pas les dispositifs qui leur correspondraient. Cette première option a été suggérée par plusieurs membres du panel de répondant. En effet, une idée qui est souvent revenue est le fait qu'il faudrait que les marques de textiles et accessoires intelligents s'appuient plus sur les besoins des consommateurs avant de proposer des fonctionnalités, car celles-ci ne correspondent pas forcément aux attentes. Cependant, cette insatisfaction peut aussi s'expliquer par méconnaissance de la part des consommateurs des textiles et accessoires intelligents qui existent sur le marché. Cela peut être dû à un manque d'information sur ces dispositifs. Cette hypothèse est confirmée par les réponses au questionnaire : parmi les 90% de personnes ayant entendu parlé des textiles intelligents, les trois quarts en ont entendu parler par le biais des médias ou des réseaux sociaux. Ces moyens de communications sont utiles pour faire connaître ce type de technologie, mais ils ne donnent pas d'informations sur les dispositifs avec des usages très précis, notamment ceux qui peuvent être utilisés dans un cadre médical, avec ou sans prescription. Pour ce genre de textiles, c'est plutôt aux professionnels de santé d'informer les patients de leur existence ainsi que des bénéfices qu'ils peuvent avoir pour eux. Or, seulement 15% des répondants connaissent les textiles intelligents via le corps médical.

Le prix est également un facteur bloquant pour les consommateurs ne possédant pas de textile ou accessoire intelligent. Pour 38% des personnes qui ne possèdent pas de textiles ou accessoires de ce genre, les fonctionnalités offertes par ce genre ne justifient pas le prix élevé de ceux-ci.

Au-delà du prix et des fonctions des vêtements et accessoires intelligents qui ne correspondent pas forcément aux besoins des consommateurs, certains de ces derniers ont également des doutes concernant la confidentialité et la sécurité du stockage de leurs données personnelles. Ce n'est pas le principal argument pour les personnes qui ne souhaitent pas acheter un textile ou accessoire intelligent, cependant, il est tout de même présent, et ce toutes générations confondues. Mais selon Guillaume Tartare, cette crainte n'est pas fondée :

“La CNIL vérifie suffisamment bien ce genre de choses en fait, tout simplement. Elle est là pour ça.”

Si la CNIL veille à la protection des données des utilisateurs de textiles et accessoires intelligents, il y a tout de même des mesures qui doivent être prises par le porteur lui-même pour prévenir la fuite ou le piratage de données, comme par exemple ne pas utiliser de mots de passe trop simples ou encore utiliser les systèmes de vérification multiples pour les connexions et appairage de l'objet au smartphone. [26]

c. L'avis des utilisateurs sur ces dispositifs

Avec les entretiens avec les professionnels, j'ai vu avoir un aperçu du retour des clients qui utilisent aujourd'hui des textiles intelligents pour leur santé. En général, ceux-ci pensent qu'ils sont plus pratiques que les méthodes classiques, mais pas toujours très confortables (cela dépend des patients). En effet, comme nous l'avons vu précédemment avec le Cardioskin, les e-textiles de du même type, c'est-à-dire sans capteur externe, sont plus pratiques que les autres méthodes d'ECG dans ce cas. De plus, même si la durée de monitoring est plus longue, celui-ci est moins contraignant car le textile intelligent permet de se déplacer librement, sans avoir

besoin d'être rattaché à un appareil. Concernant l'assiduité des patients à porter le dispositif, selon Jérémy Martin, il n'y a pas de problème :

"[...] étant donné que c'est leur médecin qui leur prescrit, ils ne se posent pas trop de questions, ils le portent."

Cependant, comme il le précise ensuite, certains patients trouvent le textile inconfortable, mais c'est le seul point négatif relevé par les utilisateurs du Cardioskin. Parmi le panel de répondants, le confort des textiles et accessoires intelligents est plutôt apprécié, c'est donc peut-être une caractéristique qui est propre aux textiles du même type que le Cardioskin, c'est-à-dire avec des fibres conductrices. Pour les participants au questionnaire, les aspects qui sont les moins convaincants sont le design et l'utilité des textiles et accessoires intelligents. Pour le design, les suggestions apportées par la suite suggèrent une apparence plus féminine, ce qu'on peut comprendre par des dispositifs plus fins, plus discrets, ce qui permettrait à celui-ci de mieux se fondre dans une tenue. Mais ceci est également valable pour les hommes, avoir un dispositif plus discret permettrait de ne même pas avoir l'impression de porter un textile ou accessoire intelligent. Concernant l'utilité, comme nous l'avons vu précédemment, l'utilité du produit est un facteur bloquant pour les personnes ne possédant pas de textile ou accessoire intelligent, mais c'est valable également pour les utilisateurs de ces dispositifs. Même si ceux-ci sont d'accord pour dire qu'ils sont satisfaits de l'efficacité du dispositif, ils sont moins convaincus par leur utilité, pensant que ceux-ci peuvent être parfois gadget et qu'ils pourraient s'en passer.

Cependant, ces aspects ne sont pas vraiment des points négatifs. Ce sont des aspects qui pourraient être améliorés mais dans l'ensemble les consommateurs sont satisfaits des produits qu'ils ont achetés. Un point qui est très réussi pour les utilisateurs est la facilité d'utilisation. En effet, les textiles intelligents sont souvent faciles à prendre en main et leur fonctionnement est assez intuitif, ce qui leur permet d'être très ergonomiques, surtout si l'utilisateur est à l'aise avec les technologies actuelles, comme les smartphones.

B. L'évolution des textiles intelligents et de leur marché

Si les textiles et accessoires intelligents sont peu connus et utilisés actuellement, c'est une situation qui va probablement changer dans un futur proche. En effet, les nouvelles avancées technologiques qui permettront d'élargir les possibilités d'utilisation de ces dispositifs ainsi que l'évolution de la population concernant les nouvelles technologies sont des facteurs qui vont conduire à une généralisation de l'utilisation des textiles intelligents.

a. La question du prix et des remboursements

Aujourd'hui, le coût des textiles et accessoires intelligents est un des freins à leur utilisation pour les établissements médicaux. On retrouve aussi l'argument du prix du côté des consommateurs : c'est un des arguments principaux pour les personnes qui ne possèdent pas de textile intelligent. Les textiles et accessoires intelligents considérés comme dispositifs médicaux sont bien sûr remboursés, mais pas forcément à la hauteur du prix du dispositif. En effet, les sommes remboursées se basent sur les méthodes habituelles de soin ou de monitoring alors que l'utilisation des nouvelles technologies comme les textiles intelligents est plus chère que ces méthodes classiques. Comme le dit par exemple Jérémy Martin pour l'ECG, le remboursement en France ne s'adapte pas à la durée du monitoring :

“Le remboursement de l'ECG c'est 77 euros si tu fais 24 heures minimum, et si ton enregistrement il fait 14 ou 30 jours c'est toujours 77 euros.”

Cependant, certains pays, comme par exemple les Etats-Unis, proposent des systèmes de remboursements de ce genre de dispositifs. Avec le marché grandissant de ces textiles, on peut imaginer que les remboursements vont s'adapter dans le futur en France, surtout si le marché continue à s'étendre et si leur utilisation se généralise.

Le prix peut cependant être expliqué par plusieurs facteurs. Tout d'abord, comme dit précédemment, les accessoires et textiles intelligents possèdent des fonctions assez avancées, avec la possibilité de mesurer, enregistrer, transmettre des données ou d'apporter un agent actif. Ces fonctionnalités sont permises grâce aux composants de ces accessoires intelligents qui, eux aussi, ont un coût. D'un côté on a besoin

d'éléments électroniques, qui contiennent parfois des métaux rares. De l'autre il y a des substances actives, qui nécessitent le développement d'une formule, des tests cliniques pour vérifier l'efficacité et aussi la sécurité du produit (tests d'irritation cutanée par exemple) qui prennent du temps et qui sont souvent très coûteux. Il y a aussi, pour intégrer tous ces éléments aux textiles des procédés de fabrications qui sont complexes et qui ne peuvent pas être réalisés par des machines. La Cardioskin par exemple, comme le précise Jérémy Martin :

“C'est des produits très technologiques, donc il y a beaucoup de main d'œuvre, beaucoup d'actions faites à la main, il n'y a pas vraiment de machines pour ça.”

Pour lui, l'objectif pour le futur serait de pouvoir proposer des textiles intelligents au même prix qu'un vêtement classique, style Zara par exemple, mais tous les coûts précédemment cités ne rendent pas cela possible. Des recherches sont en cours actuellement pour trouver des procédés moins cher et qui permettraient de produire plus de dispositifs qu'aujourd'hui et donc de réduire le prix finalement de ces produits.

b. L'avancée des recherches pour l'amélioration des textiles et accessoires intelligents

Aujourd'hui, les recherches visent à rendre les textiles intelligents plus résistants, notamment à l'entretien (lavage ou autre), car, qu'ils soient de type e-textile ou texticament, ils se détériorent facilement au fur et à mesure des lavages notamment. Cependant, cette résistance a été déjà grandement améliorée depuis le développement des premiers textiles intelligents, comme le précise Guillaume Tartare :

“On s'améliore là-dedans, il y a des textiles qui commencent à pouvoir être lavés une cinquantaine de fois, ce qui correspond globalement aux standards actuels de vêtements, mais ça nécessite quand même certaines conditions.”

Les e-textiles, comme leur nom l'indique, sont composés d'éléments électroniques qui ont besoin d'énergie pour fonctionner, il faut donc généralement au moins une batterie dans le textile, et également souvent un enregistreur pour stocker les

données collectées. Cependant, ce ne sont pas ces éléments qui vont poser problème lors de l'entretien, comme le précise Guillaume Tartare :

“C’est pour ça qu’on va souvent avoir des éléments qui vont être amovibles dans les textiles intelligents.”

En effet, ce sont plutôt les composants qui restent dans le textile, comme les capteurs en fibres conductrices, qui sont sensibles à l'entretien. La solution est donc simple en théorie : il faut des composants électroniques plus résistants aux lavages. Mais la pratique est un peu plus compliquée : les éléments électroniques contenus dans les textiles et accessoires intelligents sont souvent très petits pour pouvoir être intégrés facilement et pour gêner le moins possible lors du port du dispositif. Cependant les petits éléments sont souvent les plus fragiles, surtout pour les éléments électroniques : les fibres qui servent de capteurs peuvent se briser, ce qui va altérer petit à petit la qualité du signal et donc la qualité et la fiabilité des données récoltées.

Pour les texticaments, l'idéal serait de pouvoir recharger le vêtement en microcapsules pour augmenter sa durée de vie. En effet, au cours des lavages, l'action mécanique et l'eau peuvent altérer les capsules qui vont libérer la substance non pas au contact de la peau mais lors de l'entretien. Rendre les capsules plus résistantes au lavage les rendraient également plus difficiles à briser lorsque la libération des substances est souhaitée.

Les chercheurs se penchent actuellement aussi sur le confort des textiles intelligents pour qu'ils puissent être portés plus longtemps, ce qui pourrait être un avantage pour pouvoir allonger les durées de monitoring. Ce critère concerne surtout les e-textiles, autant ceux avec des électrodes autocollantes que ceux qui intègrent les électrodes directement dans le textile. En effet, ces deux types d'e-textiles présentent des problèmes de confort pour le patient. Pour électrodes autocollantes, le fait qu'elles soient justement collées à la peau peut causer des irritations dues à la colle. De plus, ce type d'électrodes doit être relié par des fils aux autres éléments électroniques du vêtement, et la présence de ces fils peut gêner les mouvements du porteur ce qui réduit encore le confort du textile intelligent. Par rapport à ce premier type de e-textiles, la nouvelle génération avec les fibres conductrices intégrées dans le textile est déjà plus pratique et confortable pour le porteur. Premièrement, il n'y a

pas d'électrode collée sur la peau, donc moins de risques liés à la colle. Ensuite, l'absence des fils permet à ces textiles intelligents d'être ambulatoire, ce qui permet au porteur de pouvoir vivre normalement même pendant la durée de son monitoring. Le traitement ou le suivi est déjà bien moins contraignant qu'avec les textiles avec capteurs autocollants, mais le confort n'est toujours pas optimal.

c. L'évolution du marché dans les années à venir

Aujourd'hui, le marché des textiles intelligents présente un fort potentiel à l'échelle mondiale et est donc en pleine croissance. Les estimations indiquent une progression de ce marché de 943 millions de dollars en 2015 à 5369 millions de dollars en 2022, avec un TCAC 28,4% de 2016 à 2022. De plus, l'augmentation de la demande permet à de nouveaux acteurs d'entrer sur ce marché, ce qui le fait croître d'autant plus. Cette croissance importante peut s'expliquer par les nombreuses applications possibles pour les textiles intelligents dans diverses industries.

Comme nous l'avons déjà évoqué plusieurs fois, le marché des textiles et accessoires intelligents est en plein développement, [2] ils sont de plus en plus connus et utilisés. Il aurait été intéressant de pouvoir comparer les résultats obtenus avec le questionnaire avec des résultats qui auraient été obtenus cinq ans plus tôt par exemple pour vraiment voir l'évolution, notamment sur la proportion de personnes connaissant et possédant un ou plusieurs textiles ou accessoires intelligents, mais également sur la satisfaction des porteurs de ces dispositifs. Cela aurait pu nous donner un aperçu de l'évolution de ces technologies du point de vue des consommateurs.

“Donc je pense que ça va venir parce que la population va se renouveler, mais à l'heure actuelle il y a un facteur, qui est psychologique, qui est l'acceptation du traitement globalement.”

Pour Guillaume Tartare, le manque d'utilisation à l'heure actuelle des textiles intelligents est dû au fait que les porteurs sont en général assez âgés et le principal problème est l'acceptation du traitement, ce n'est pas forcément lié au fait de porter

un textiles intelligents. Cependant, l'âge des patients fait que ceux-ci ne connaissent pas forcément les nouvelles technologies en général et n'y voient pas trop d'intérêt. Ce problème existe moins pour les générations plus jeunes qui pour certaines sont nées dans une époque déjà très ancrée dans l'ère du numérique et d'internet.

Pour Jérémy Martin, l'utilisation des textiles intelligents pour le domaine médical va se généraliser dans le futur, mais pas forcément ceux prescrits par les médecins :

“Je suis persuadé c'est que les gens vont être acteurs de leur santé”

Selon lui, les entreprises comme BioSerenity vont plutôt permettre de faciliter les études cliniques et de développer de nouvelles méthodes pour celles-ci, et ce sont plutôt les entreprises qui vendent directement les textiles intelligents aux utilisateurs, textiles qui ne sont donc pas des dispositifs médicaux, qui vont permettre d'introduire de plus en plus ces textiles dans le domaine de la santé. On peut citer des entreprises comme Dreem par exemple, qui commercialise des dispositifs de surveillance du sommeil, ou encore Apple, avec l'Apple Watch qui permet de réaliser des ECG et de mesurer la saturation en oxygène.

IV. Recommandations

Depuis leur apparition, il y a déjà eu de nombreuses améliorations pour les textiles et accessoires intelligents, que ce soit au niveau de la technologie ou encore de la diversification de leurs utilisations. Mais il y a encore du chemin à parcourir pour que ces nouveaux dispositifs entrent dans notre quotidien. En effet, les textiles intelligents, notamment dans le secteur médical, ne sont encore que trop peu connus et utilisés, et pour changer cela, c'est aux entreprises qui vendent ces dispositifs mais aussi au corps médical d'agir pour favoriser leur intégration dans le monde des dispositifs médicaux.

A. Pour les entreprises de textiles intelligents

Pour pouvoir allonger la durée de vie des textiles et accessoires intelligents et donc allonger leur durée d'utilisation, il serait pertinent de se focaliser dans la recherche sur le thème de l'entretien des textiles. Aujourd'hui, on réussit à faire des fibres conductrices qui s'intègrent parfaitement dans le textiles, mais la difficulté pour les textiles intelligents est toujours l'entretien. Que ce soit dans les cas des e-textiles ou pour les texticaments, l'entretien est toujours un sujet compliqué, soit à cause de l'eau ou même à cause de l'action mécanique du lavage (de la machine à laver par exemple). Pour les e-textiles, nous avons déjà en général la possibilité d'enlever les éléments électroniques, comme la batterie, pour effectuer l'entretien, mais les fibres électroniques sont aussi assez fragiles. Plus protéger les fibres avec des gaines plus épaisses et résistantes n'est pas envisageable car les fibres deviendraient plus épaisses ce qui rendrait le vêtement plus inconfortable. Une solution serait d'utiliser un matériau conducteur plus extensible pour que celui-ci se casse moins facilement lorsque l'on exerce une force sur le tissu. Pour les texticaments, l'effet négatif que peut avoir l'entretien est la libération prématurée et lorsque le textile n'est pas en contact avec la peau des substances actives qui ont été encapsulées. En effet, pour pouvoir se briser avec la chaleur ou les frottements du vêtement sur la peau, les capsules doivent être assez fines, ce qui peut les rendre fragiles. Pour augmenter la durée de vie de ce type de textiles, on ne peut donc pas non plus renforcer les enveloppes des capsules pour les rendre plus résistantes au lavage. Par contre, on peut choisir des matériaux pour l'enveloppe des capsules qui ne réagit pas au

contact de l'eau mais qui se dissout au contact de la peau. Ce type de capsules permettrait au textile de pouvoir être lavé avec de l'eau, mais il faudrait tout de même faire attention aux actions mécaniques engendrées par l'entretien et peut-être plutôt favoriser un lavage à la main.

Pour les textiles intelligents connectés, toujours dans le but de pouvoir encore allonger la durée des monitoring et donc l'efficacité de ces suivis, il est nécessaire d'améliorer le confort des textiles intelligents. Il y a déjà des avancées sur ce point, notamment avec les e-textiles. Il y a aujourd'hui des textiles donc les capteurs sont directement composés de fils tissés dans le vêtement au lieu d'avoir des capteurs externes qui sont généralement collés sur la peau. Ces derniers peuvent irriter la peau et sont peu pratiques à porter du fait des fils qui relient les capteurs aux autres éléments électroniques du textile. Mais même si la nouvelle génération d'e-textiles n'a pas ce genre d'inconvénients, ils ne sont tout de même pas aussi confortables qu'un vêtement classique car ils sont souvent plus rigides et moins doux au toucher. Une solution qui pourrait être envisagée serait de trouver un moyen d'affiner les fibres conductrices, ce qui aurait pour effet d'augmenter leur souplesse et donc d'augmenter la douceur du tissu. Mais plus la fibre est fine, plus elle est fragile, il faut donc trouver un compromis entre un vêtement doux et confortable et un dispositif efficace et résistant dans le temps. Le matériau utilisé pour la gaine de la fibre conductrice peut également jouer sur la douceur et le confort que va ressentir le porteur.

Comme je l'ai vu avec le questionnaire grand public, l'un des arguments qui revenaient le plus souvent dans les raisons pour lesquelles l'utilisateur n'achète pas de textiles intelligents était qu'il estimait qu'il n'en avait pas l'utilité. Je pense donc qu'il serait important pour les entreprises qui développent de nouveaux textiles et accessoires intelligents d'interroger le consommateur pour connaître ses besoins, les fonctionnalités qu'il souhaite pour ceux-ci. Pour cela, on peut effectuer des études de marché avec des sondages auprès des consommateurs possédant au moins un textile intelligent pour savoir ce qui pourrait être amélioré selon eux, et également auprès des personnes qui n'en possèdent pas pour savoir ce qui pourrait les convaincre d'investir dans ces nouvelles technologies. Ce serait bien sûr un investissement de la part de l'entreprise au départ, mais sur le long terme cela peut

engendrer plus de ventes, puisque les produits correspondront mieux aux attentes des clients.

Enfin, l'expansion du marché des textiles intelligents implique de penser à leur recyclage. En effet, les textiles intelligents comportant la majorité du temps des composants électroniques, il est nécessaire de penser à leur fin de vie pour ne pas d'une part gaspiller des ressources électroniques, d'autre part ne pas polluer l'environnement. Le textile et l'industrie électronique sont deux secteurs qui produisent déjà énormément de déchets, il est donc nécessaire de penser aux effets que pourraient avoir les textiles intelligents sur ces déchets. Comme dit précédemment, le fait de ne pas recycler engendre un impact négatif mais également une perte financière qui, selon la fondation Ellen MacArthur, serait de 500 milliards de dollars chaque année à l'échelle mondiale. Pour optimiser le recyclage de ces deux types de matériaux, l'idéal est de les séparer pour les traiter chacun de la façon la plus adaptée. Pour cela, il faut donc désassembler les textiles intelligents, ce qui est une tâche assez longue à réaliser. Cependant, pour faciliter celui-ci, il faut que le recyclage soit pensé au moment de la conception du textile intelligent. Cette nouvelle façon de concevoir le dispositif se fait généralement avec une assistance informatique, grâce à des logiciels par exemple. En plus de faciliter le recyclage de ces dispositifs, une conception plus optimisée peut également permettre de les réparer en cas de dommages, comme on le ferait avec un outil électronique ou un textile seul, ce qui permet d'allonger la durée de vie de ceux-ci, et donc de réduire la quantité de déchets produits par les textiles intelligents. [27]

B. Pour le corps médical

Pour habituer les patients à utiliser les textiles et accessoires intelligents, il faudrait généraliser au maximum l'utilisation de ces textiles quand c'est possible car ils peuvent s'avérer très utiles, par exemple dans le cadre de la télémédecine. Comme nous l'avons vu avec la crise sanitaire de la Covid-19, il y a toujours besoin de lits dans les hôpitaux, il est donc mieux d'utiliser les méthodes de monitoring à domicile quand c'est possible. De plus, comme aucun lit n'est utilisé par le patient en monitoring, on peut le suivre plus longtemps sans impacter la capacité de l'hôpital. On aura donc des diagnostics plus précis, ou des suivis plus fiables qu'avec les méthodes d'examen classiques puisqu'on récoltera plus de données. L'utilisation de ce type de dispositifs est bien sûr un investissement au départ pour l'établissement de santé, mais il peut vite être rentabilisé grâce à la possibilité de monitorer des patients tout en accueillant d'autres à l'hôpital en même temps. Mais pour généraliser l'utilisation des textiles et accessoires intelligents dans les établissements hospitaliers, il faut également que le personnel soignant soit au courant de l'existence et des bienfaits de ces outils. Pour cela, des formations devraient être organisées, avec par exemple des entreprises proposant ces dispositifs, pour que le corps médical puisse comprendre l'intérêt des textiles intelligents.

Une nécessité aussi pour généraliser l'utilisation des textiles et accessoires intelligents est de plus informer les patients de l'existence de cette possibilité. Comme nous l'avons vu lors de l'analyse du terrain avec le questionnaire grand public, les participants au questionnaire qui connaissaient les textiles intelligents ont rarement été informés par le corps médical. Pour généraliser l'utilisation de ces textiles, il est bien sûr obligatoire d'en parler pour faire connaître ces nouvelles pratiques, et également pour habituer les patients à ce genre d'outils qui s'avèrent très utiles. Comme pour le point précédent, pour que les soignants conseillent ce genre de dispositifs, il faut qu'ils en aient connaissance, et donc dans ce cas des formations pourraient être utiles également. Il faudrait ensuite, pour chaque patient pour lequel l'utilisation d'un textile intelligent est possible pour remplacer le traitement habituel, informer celui-ci d'une part de l'existence de ce dispositif, et d'autre part lui présenter les avantages pour lui de cette nouvelle méthode. Plus les

textiles intelligents seront utilisés, plus les patients auront confiance en ces dispositifs et seront aptes à les utiliser à leur tour. De plus, avoir un avis positif concernant ces dispositifs venant de la part d'un médecin peut rassurer le patient, notamment les patients plus âgés, qui ne voit pas forcément l'intérêt ou même n'a pas confiance en la technologie pour leur santé.

Conclusion

Depuis leur apparition, les textiles et accessoires intelligents n'ont cessé de s'améliorer au fil des années et c'est toujours le cas aujourd'hui. En effet, les recherches sont toujours actives pour chercher à les améliorer davantage, que ce soit au niveau de leur qualité, résistance, confort, ou même au niveau des fonctionnalités dont ils sont dotés.

Cependant, même si leur marché est en pleine croissance ces dernières années, l'utilisation des textiles et accessoires intelligents est loin d'être généralisée. En effet, même si ces dispositifs sont présents dans de nombreux domaines tels que les loisirs, les cosmétiques ou encore la médecine, ce n'est pas pour autant que les utilisateurs connaissent les avantages qu'ils présentent par rapport aux méthodes et objets utilisés habituellement ni même l'existence de ces technologies.

Comme nous l'avons vu dans l'étude de terrain, l'utilité de ces textiles dans le secteur médical est indubitable, que ce soit pour les professionnels qui conçoivent et commercialisent ces dispositifs comme pour les consommateurs, que ceux-ci possèdent ou non un textile ou accessoire intelligent pour leur quotidien. L'utilité de ces technologies n'est donc pas à prouver, alors comment expliquer cette si faible proportion de personnes qui utilisent régulièrement des textiles intelligents, notamment dans le secteur médical ?

L'étude qualitative a montré que, même si la majorité des personnes avaient déjà au moins une fois entendu parler des textiles intelligents, ceux-ci ne savaient pas forcément à quoi ils pourraient servir dans la médecine. Ceci peut s'expliquer par les moyens par lesquels les participants ont reçu les informations. En effet, la source la plus commune parmi les répondants est l'entourage. Si le bouche à oreille est très efficace pour faire connaître un sujet, les informations plus précises ne sont cependant pas transmises. Les informations concernant les bienfaits pour la santé ou les avantages de ces textiles devraient être apportées par des professionnels, comme par exemple les médecins, ce qui n'est pas le cas actuellement. En plus d'apporter des informations plus rigoureuses, le médecin est également la personne qui va prescrire ce nouveau type de dispositifs médicaux. Il est donc logique de

penser que la généralisation de l'utilisation de ces derniers va passer par les professionnels, en particulier dans le secteur de la santé.

Un autre facteur qui va probablement accélérer la généralisation des textiles intelligents dans notre quotidien est le renouvellement de la population. En effet, les générations les plus jeunes ont toujours connu la technologie omniprésente dans leur vie, il est donc aisé pour eux d'imaginer être soignés par des textiles intelligents. Ce n'est pas le cas pour les générations plus âgées, qui ne voient pas forcément l'intérêt de ce genre de technologie et qui s'en méfient même parfois.

Bibliographie

1. Aroganam, G., Manivannan, N., & Harrison, D., 2019. Review on Wearable Technology Sensors Used in Consumer Sport Applications. *Sensors*, 19(9), 1983.
2. Canan Çelikel, D., 2020. Smart E-Textile Materials. *Advanced Functional Materials*. Published. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92439>
3. Yu, L., Feng, Y., S/O M Tamil Selven, D., Yao, L., Soon, R. H., Yeo, J. C., & Lim, C. T., 2019. Dual-Core Capacitive Microfiber Sensor for Smart Textile Applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(36), 33347-33355.
4. Introduction aux Technologies d'encapsulations. *Capsulae*. Consulté le 15/05/2021, à l'adresse <http://www.capsulae.com/media/Presentation-Microencapsulation-Capsulae.pdf>
5. Microencapsulation : l'enrobage d'un principe actif par., 21 janvier 2021. *Capsularis*. Consulté le 15 mai 2021, à l'adresse <https://capsularis.com/produits/microencapsulation/>
6. Bénéfices & engagements - Dooderm. (s. d.). Dooderm. Consulté le 13 mai 2021, à l'adresse <https://dooderm.com/content/benefices-engagements-20>
7. Tavakoli, M., Carriere, J., & Torabi, A., 2020. Robotics, Smart Wearable Technologies, and Autonomous Intelligent Systems for Healthcare During the COVID-19 Pandemic : An Analysis of the State of the Art and Future Vision. *Advanced Intelligent Systems*, 2(7), 2000071.
8. Montres connectées. (s. d.). FitBit. Consulté le 8 juin 2021, à l'adresse <https://www.fitbit.com/global/fr/products/smartwatches>
9. Maçon, L., 21 mai 2019. Google Glass : moins chers et plus performantes, les lunettes connectées pour entreprise font leur grand

retour. Numerama.
<https://www.numerama.com/tech/514872-google-glass-moins-chers-et-plus-performantes-les-lunettes-connectees-pour-entreprise-font-leur-grand-retour.html>

- 10.** Auclert, F., 22 mai 2019. Google Glass 2 : le retour des lunettes connectées. Futura.
<https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/objets-connectes-google-glass-2-retour-lunettes-connectees-76154/>
- 11.** Righi, N., 9 novembre 2017. Interview : Thierry Emin, Dirigeant du Groupe Billon & d'Aura Evolution. Mode in Textile.
<https://www.modeintextile.fr/textile-intelligent-capable-de-stocker-codes-etiquettes-didentification-electronique/>
- 12.** Masque Sec Pour Le Visage : instant Magic Facial Mask. (s. d.). Charlotte Tilbury. Consulté le 12 mai 2021, à l'adresse
<https://www.charlottetilbury.com/fr/product/dry-sheet-face-mask>
- 13.** Panty Push Up Gainant Minceur. (s. d.). Lytess. Consulté le 9 juin 2021, à l'adresse
https://www.lytess.com/products/panty-push-up-gainant-minceur?variant=32893646635147&cy=EUR&cy=EUR&utm_medium=organic&utm_source=google-shopping&utm_campaign=flux-google&gclid=Cj0KCQjwzYGGbHCTARIsAHdMTQwt6CFWlaB0y79YXskrgYecnUXA2aWxQEXMHwNvN01IKEYLMPcML4AaAvjuEALw_wcB
- 14.** DermaSilk®, le tissu qui soigne l'eczéma ! Explication ! - Fritsch Medical. (s. d.). Fritsch Medical. Consulté le 14 mai 2021, à l'adresse
<https://fritsch-medical.fr/content/13-dermasilk-le-tissu-qui-soigne-eczema>
- 15.** G., C., 28 juillet 2017. Le vêtement anti-UV : une évolution de la protection solaire. Brulure.
<https://www.brulure.fr/vetement-anti-uv-evolution-protection-solaire/>

- 16.** Paquette, J., 3 avril 2017. Technologie et textiles intelligents, le futur de la mode ? Elle Québec. <https://www.ellequebec.com/mode/tendances/technologie-et-textiles-intelligents-le-futur-de-la-mode>
- 17.** Gao, Y. (s. d.). ying gao - designer. Ying Gao. Consulté le 19 mai 2021, à l'adresse <http://yinggao.ca/fr/>
- 18.** Apple. (s. d.). Apple Watch Series 6. Apple (France). Consulté le 10 juin 2021, à l'adresse <https://www.apple.com/fr/apple-watch-series-6/>
- 19.** Joyce, K., 2019. Smart textiles : transforming the practice of medicalisation and health care. *Sociology of Health & Illness*, 41(S1), 147-161.
- 20.** Dreem - Sleep pioneers. (s. d.). Dreem. Consulté le 7 juin 2021, à l'adresse <https://dreem.com/>
- 21.** Elitac Wearables., 16 avril 2021. BalanceBelt. <https://elitacwearables.com/projects/balancebelt/>
- 22.** Pèse-personne impédancemètre connecté - MyScale Analyzer XL., 23 août 2018. Visiomed Group. https://www.visiomed.fr/portfolio_page/pese-personne-impedancemetre-connecte-myscale-analyzer-xl/
- 23.** CARDIOLOGIE : BioSerenity. (s. d.). BioSerenity. Consulté le 24 mai 2021, à l'adresse <https://www.bioserenity.com/cardiologie/>
- 24.** Bathelot, B., 23 septembre 2019. Etude quantitative - Définitions Marketing. Définitions Marketing. <https://www.definitions-marketing.com/definition/etude-quantitative/>
- 25.** Bathelot, B., 23 septembre 2019. Etude qualitative - Définitions Marketing. Définitions Marketing. <https://www.definitions-marketing.com/definition/etude-qualitative/>

- 26.** Objets connectés : n'oubliez pas de les sécuriser ! | CNIL., 4 décembre 2017. CNIL.
<https://www.cnil.fr/fr/objets-connectes-noubliez-pas-de-les-securiser>
- 27.** Wu, S., & Devendorf, L., 2020. Unfabricate : Designing Smart Textiles for Disassembly. Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Published

Tables des figures et tableaux

Figure 1 : Schéma des fonctions nécessaires au fonctionnement des e-textiles	6
Figure 2 : Vue en coupe du capteur souple capacitif	10
Figure 3 : Schémas des structures matricielle (à gauche) et coeur/membrane (à droite)	15
Figure 4 : Bracelet connecté FitBit	20
Figure 5 : Google Glass Enterprise Edition 2	23
Figure 6 : Robes Can't (à gauche) et Won't (à droite) qui réagissent aux mouvements de la personne qui la porte	27
Figure 7 : Exemple de capteur sous forme de patch	29
Figure 8 : Bandeau pour l'analyse du sommeil Dreem	31
Figure 9 : Balance Belt de Elitac Wearables	32
Figure 10 : T-shirt connecté Cardioskin par BioSerenity	34
Tableau 1 : Principales caractéristiques des technologies de connexion sans fil	13
Tableau 2 : Profils des personnes rencontrées lors de la phase terrain	44

Tables des annexes

Annexe I.A : Questionnaire grand public pour l'étude qualitative	71
Annexe I.B : Graphiques d'analyses des réponses au questionnaire	76
Annexe II.A : Guides d'entretien pour les entretiens individuels	81
Annexe II.B : Retranscriptions des entretiens	83

Annexes

Annexe I.A : Questionnaire grand public pour l'étude qualitative

Les accessoires et textiles intelligents

Je m'appelle Tess Boulmont, je suis actuellement en Master 2 Healthcare Business à l'Ilis, la Faculté d'Ingénierie et de Management de la santé de Lille. Dans le cadre de mon mémoire de fin d'étude, j'ai choisi de travailler sur le thème des accessoires et textiles intelligents utilisés dans le domaine de la santé.

Montres ou t-shirts connectés, texticaments... Ces accessoires et textiles intelligents peuvent prendre différentes formes et sont de plus en plus présents dans notre quotidien dans toutes sortes de domaines.

Ce questionnaire a pour but de m'éclairer sur la connaissance et/ou le regard de la population en général sur ces objets. Plus il y aura de réponses, plus les résultats seront représentatifs de la population, n'hésitez donc pas à partager ce questionnaire dans votre entourage !

Ce questionnaire ne vous prendra que quelques minutes et est anonyme. Les données récoltées grâce à vos réponses seront seulement analysées dans le cadre de mon mémoire.

Si vous avez des questions, n'hésitez pas à me contacter à l'adresse tess.boulmont.etu@univ-lille.fr.

Merci d'avance pour votre temps et votre participation !

- Vous êtes :
 - Un homme
 - Une femme
 - Autre...

- Quel est votre âge ?
 - Moins de 18 ans
 - 18-25 ans
 - 26-35 ans
 - 36-45 ans
 - 46-60 ans
 - Plus de 60 ans
- Quelle est votre catégorie socio-professionnelle ?
 - Agriculteur exploitant
 - Artisan, commerçant, chef d'entreprise
 - Cadre
 - Profession intermédiaire
 - Employé
 - Ouvrier
 - Retraité
 - Etudiant
 - Autre...
- Dans quelle région vivez-vous ?
 - Auvergne-Rhône-Alpes
 - Bourgogne-Franche-Comté
 - Bretagne
 - Centre-Val de Loire
 - Corse
 - Grand Est
 - Haut-de-France
 - Ile-de-France
 - Normandie
 - Nouvelle-Aquitaine
 - Occitanie
 - Pays de la Loire
 - Provence-Alpes-Côte d'Azur
 - Guadeloupe
 - Guyane
 - Martinique
 - La Réunion
 - Mayotte

- Avez-vous déjà entendu parler des textiles/accessoires intelligents ?
 - Oui
 - Non
- Si oui, de quel(s) textile(s) ou accessoire(s) avez-vous entendu parler ?
(plusieurs réponses possibles)
 - Montre ou bracelet connecté
 - Texticament(textile contenant une substance encapsulée)
 - T-shirt ou autre vêtement connecté
 - Autre...
- Par quel(s) moyen(s) en avez-vous entendu parler ? (plusieurs réponses possibles)
 - Corps médical (médecin, spécialiste)
 - Entourage (famille, amis)
 - Réseaux sociaux
 - Médias (télévision, radio)
 - Presse (journal, revue/magazine spécialisé)
 - Autre...
- Selon vous, quels sont les domaines dans lesquels peuvent être utilisés les textiles intelligents ? (plusieurs réponses possibles)
 - Sport
 - Militaire
 - Médical
 - Cosmétique
 - Mode
 - Autre...
- Possédez-vous au moins un textile/accessoire intelligent ?
 - Oui
 - Non
- Si oui, quel(s) textile(s) ou accessoire(s) possédez-vous ? (plusieurs réponses possibles)
 - Montre ou bracelet connecté
 - Texticament(textile contenant une substance encapsulée)
 - T-shirt ou autre vêtement connecté
 - Autre...

- Pour quel(s) usage(s) le(s) possédez-vous ? (plusieurs réponses possibles)
 - Soins, prévention de certaines pathologies
 - Suivi des performances sportives
 - Usage quotidien (lire ses mails, aller sur internet...)
 - Cosmétique (vêtement amincissant par exemple)
 - Autre...
- Etes-vous satisfait de ce(s) produit(s) ?

	Pas du tout satisfait(e), je regrette l'achat de ce produit	Peu satisfait(e), je ne pense pas acheter d'autres produits de ce type	Moyennement satisfait(e), j'utilise ce produit mais pourrais m'en passer	Assez satisfait(e), j'utilise régulièrement ce produit	Très satisfait(e), ce produit est devenu indispensable pour moi
Qualité					
Efficacité					
Utilité					
Facilité d'utilisation					
Design					
Confort					

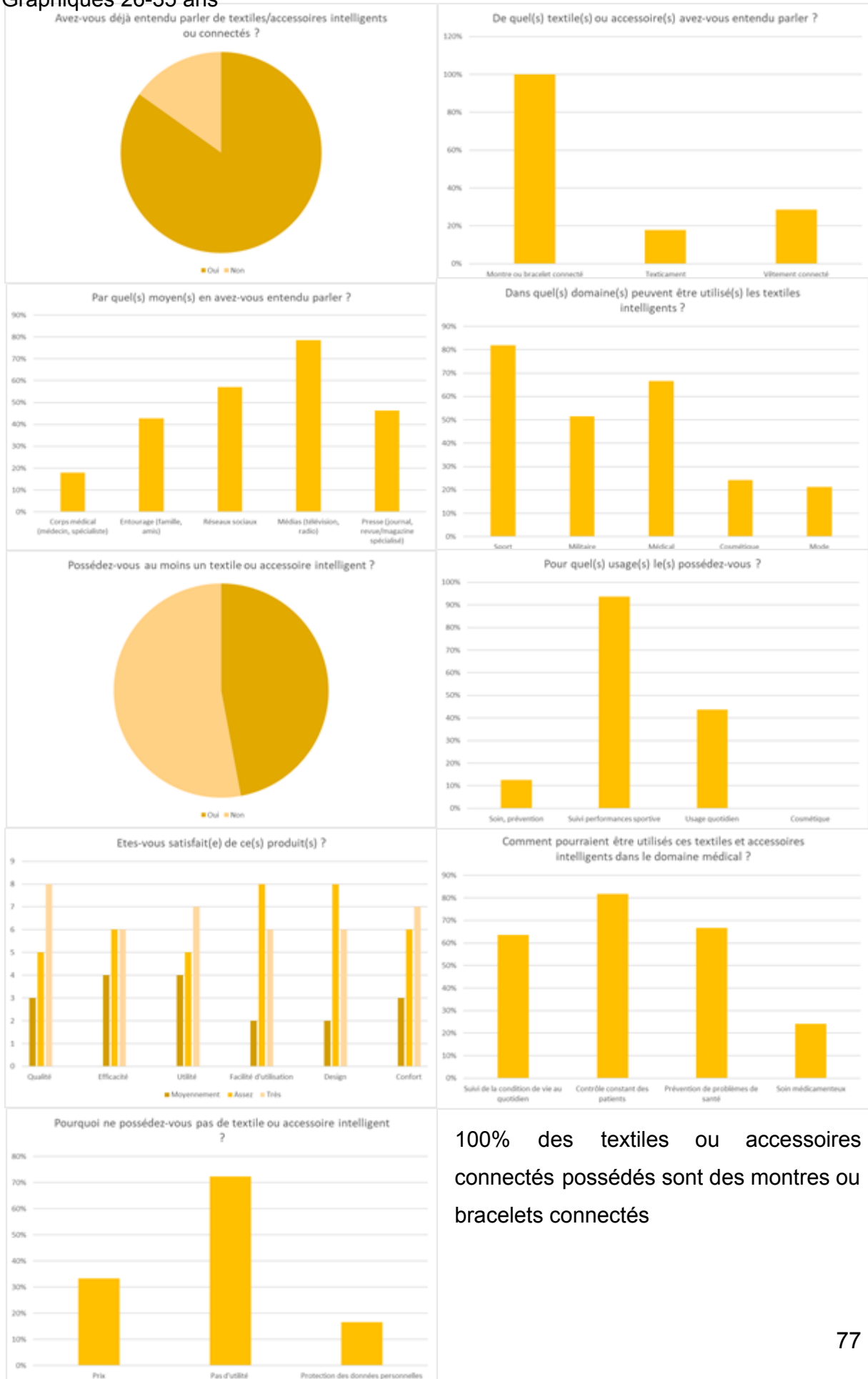
- Si vous n'en possédez aucun, pour quelle(s) raison(s) ? (plusieurs réponses possibles)
 - Prix
 - Pas d'utilité pour vous
 - Protection de données personnelles (notamment pour les objets connectés)
 - Autre...

- Selon vous, comment pourraient être utilisés ces textiles intelligents dans le domaine médical ?
 - Suivi de la condition de vie au quotidien
 - Contrôle constant des patients souffrant de maladies chroniques
 - Prévention de problème de santé (ex : accident cardio-vasculaire)
 - Soin médicamenteux par un système de substance encapsulée dans le textile
- Avez-vous des suggestions pour l'amélioration de ces produits ? (question ouverte)
- Selon vous, pour quelle(s) autre(s) utilisation(s) les textiles intelligents pourraient-ils être utiles ? (question ouverte)

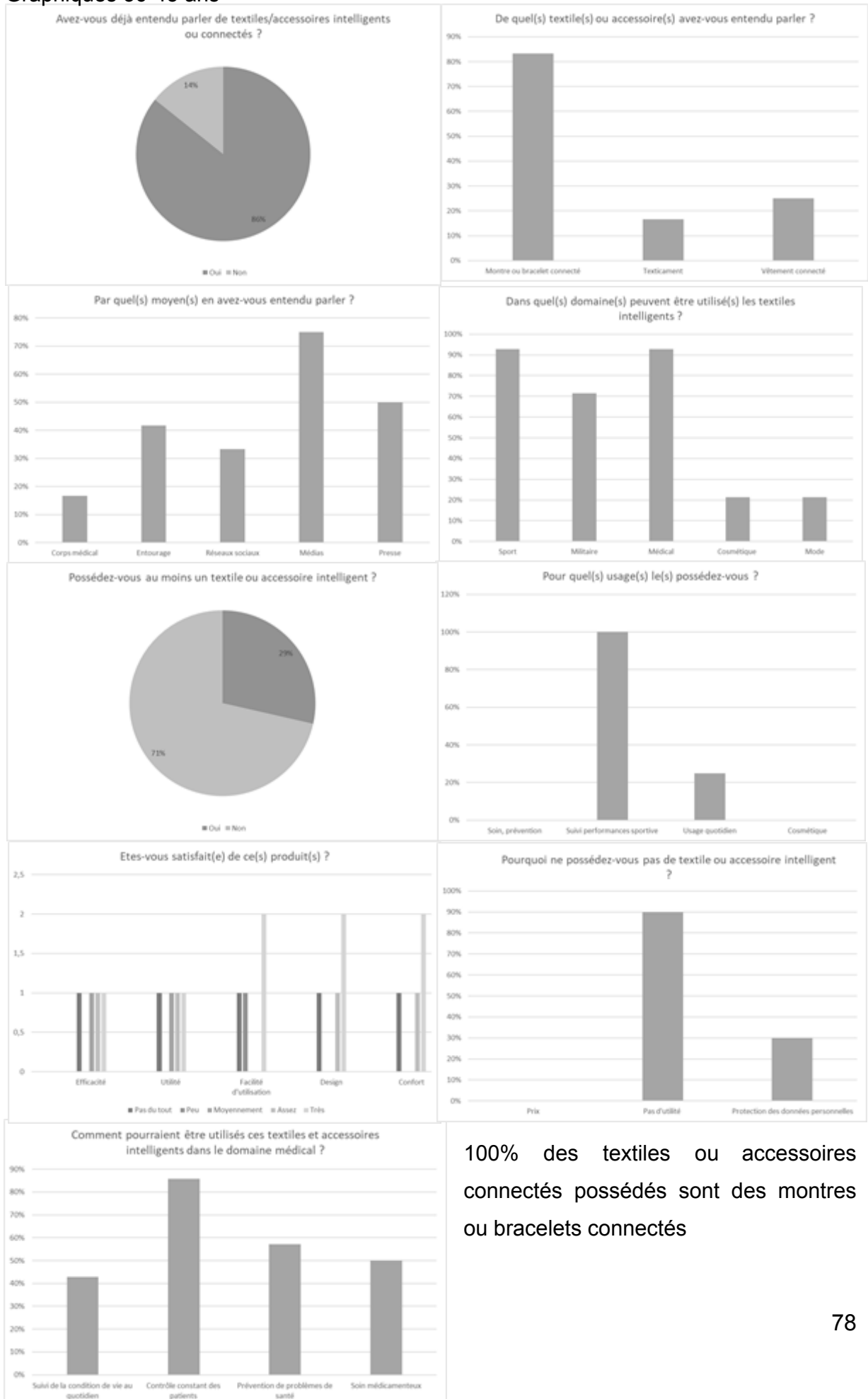
Annexe I.B : Graphiques d'analyses des réponses au questionnaire - 18-25 ans



Graphiques 26-35 ans



Graphiques 36-45 ans



100% des textiles ou accessoires connectés possédés sont des montres ou bracelets connectés

Graphiques 46-60 ans



100% des participants de cette tranche d'âge ont déjà entendu parler des textiles et accessoires intelligents

Graphiques +60 ans



100% des participants de cette tranche d'âge ont déjà entendu parler des textiles et accessoires intelligents

Pour les autres questions, je n'ai pas eu suffisamment de réponses pour pouvoir faire des graphiques.

Annexe II.A : Guides d'entretien pour les entretiens individuels

Guide d'entretien pour les personnes dans la recherche

Présentation du contexte : présentation du sujet, de pourquoi je l'ai choisi

Présentation de la personne :

- Nom
- Fonction

Présentation de son parcours et de ses recherches en cours:

- Sujet
- Objectif
- Avancée de la recherche
- Fonctionnement du dispositif
- Pour quel public ? (professionnels, particuliers ?)
- Quel usage du produit (soin, surveillance...)

Quels sont les avantages du textile intelligent par rapport aux instruments utilisés habituellement pour le même usage ? Les inconvénients ?

Quelles sont les évolutions possibles, les améliorations qui pourraient être apportées aux textiles intelligents dans le futur ?

Comment pensez-vous que le marché va évoluer ?

Guide d'entretien pour les personnes en entreprise

Présentation du contexte : présentation du sujet, de pourquoi je l'ai choisi

Présentation de la personne :

- Nom
- Fonction

Présentation de son entreprise et des produits :

- Domaine d'activité
- Type de clients (particuliers, professionnels (de santé))

- Type de produits (vêtements/accessoires, électronique/chimique) (Prix ?) Sur mesures (pour des vêtements principalement) ?
- Pour quel public ? (professionnels, particuliers ?)
- Quel usage du produit (soin, surveillance...)
- Quels pays ? (France, Europe, international)

Quels sont les avantages du textile intelligent par rapport aux instruments utilisés habituellement pour le même usage ? Les inconvénients ?

Quelles sont les évolutions possibles, les améliorations qui pourraient être apportées aux textiles intelligents dans le futur ?

Comment pensez-vous que le marché va évoluer ?

Retranscription entretien Guillaume Tartare

Pouvez-vous vous présenter s'il vous plaît?

En quelques mots, je m'appelle Guillaume Tartare, je suis enseignant chercheur du coup à l'ENSAIT, l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles. Je suis issu à la base de l'INSERM, donc l'Institut National pour la Santé Et la Recherche Médicale, où j'ai effectué ma thèse sur l'analyse des données pour l'aide à la décision pour la détection des cancers (prostate, sein, thyroïde principalement). Dans ce laboratoire j'ai travaillé en partenariat avec le laboratoire où je suis actuellement, le Gemtex (pour le génie des matériaux textiles) pour faire un textile qui traitait le cancer de l'adénocarcinome (qui est une sorte de cancer de la peau) et ça m'a fait découvrir un peu l'intérêt que pouvait avoir le textile et ses autres particularités. Et du coup, à partir de là, j'ai bifurqué sur les textiles intelligents et sur tout ce qu'on peut faire comme traitement de l'information à partir des textiles qui font beaucoup de monitoring. Vous avez déjà pas mal de choses, sur tout ce qui va être les montres connectées et autres. Y en a plein qui vont être un petit peu gadget, qui vont faire de la récupération de l'information un petit peu biaisée, mais on peut quand même faire pas mal de choses à partir de capteurs de ce type dans un textile qui vont avoir des mesures un petit peu plus précises. Tout ce qui va être par exemple de la variabilité cardiaque, ou on peut essayer d'identifier notre niveau de stress, de concentration, de performances physiques et autres, ce sont des données assez importantes dans le domaine soit du sport, de la sécurité ,au sens de l'armée, ou encore pour d'autres disciplines. Par exemple, vous avez tous déjà vu que dans les maillots de rugby ils ont une boule au niveau de la nuque qui est une sorte de capteur qui va récupérer pas mal d'informations. Voilà un petit peu mon domaine d'expertise actuellement.

Et donc les projets sur lesquels vous travaillez sont utilisés surtout dans le domaine de la santé ? Pour surveiller des constantes physiques ?

Principalement c'est ça. C'est ce qu'on appelle le monitoring, c'est de la surveillance de différents signaux. Cela va de la température à la pression artérielle, au rythme cardiaque, à l'ECG même de manière générale. Il y a énormément de possibilités

pour avoir un rythme cardiaque, il n'y a pas que l'ECG. On va avoir la sismo-pléthysmographie, on va avoir une bonne dizaine de méthodes à peu près. On va avoir tout ce qui va être accélérométrique pour essayer de déterminer l'activité des muscles et autres. On va avoir tout ce qui est études pour la prévention des escarres, des choses comme ça. Là, on a fait une étude sur les mouvements foetaux, qui vont être du coup un indicateur globalement de leur état de bien-être mais également qui va aider à définir la date d'accouchement. ça peut être intéressant justement dans certains pays où la distance avec un hôpital peut parfois être très grande. On peut faire une tenue pour les pompiers pour essayer de définir au mieux leur aptitude à être sur le terrain ou leur donner un temps de repos, aller changer d'équipe, etc. Donc ça permet de faire du "coaching" d'équipes, que ce soit pour les pompiers, que ce soit pour l'armée, pour des équipes sportives. On a été contacté par exemple pour tout ce qui est France 2024, par les fédérations sportives, pour essayer de définir de nouveaux textiles d'entraînement ou de compétition.

Donc ce sont des textiles plutôt faits pour la surveillance ? Ou ils peuvent également être utilisés pour le soin ?

Il y a des textiles pour le soin. Ce dont je vous parlais tout à l'heure sur le traitement de l'adénocarcinome, c'est un textile qui soigne en effet. Il ne soigne pas seul, c'est-à-dire qu'il a besoin globalement c'est une particule qui va, en présence de lumière et d'oxygène, activer une molécule qui va libérer une toxine. Sauf que cette particule, elle va se fixer uniquement sur les cellules cancéreuses (enfin uniquement avec des gros guillemets parce qu'il y a aussi le foie qui peut être touché, mais sur la peau il n'y a pas tellement de foie). Et du coup le défilement de la lumière de manière homogène on le fait avec un textile. Parce qu'il y a toujours des zones qui vont être plus ou moins bien exposées à la lumière et d'autres moins donc au moins le faire dans un textile ça permet d'homogénéiser tout ça.

Il y avait déjà des traitements pour ce genre de maladies ?

Il y avait déjà des traitements mais qui n'étaient pas ambulatoires en fait. Globalement, on vous obligeait à rester à l'hôpital ou ce genre de choses. Là ça vous permet de porter le vêtement et d'être un petit peu plus autonome dans votre traitement. Après il y a d'autres types de textiles qui traitent qui ne sont pas des lumi textiles, qui sont ce qu'on appelle des textiles fonctionnels qui vous permettent par

exemple par la bioencapsulation et la micro encapsulation de composés actifs qui vont libérer certaines molécules parce que la capsule qui encapsule le procédé actif va se casser ou va se fissurer et du coup libérer petit à petit votre agent actif. Après, il peut se libérer de différentes façons en fonction de la température ou autre. Donc les procédés de libération peuvent être variés et l'agent actif peut être varié également. Là ce domaine c'est ce qu'on appelle la microencapsulation, c'est un autre type de textiles intelligents certes, mais ce n'est pas vraiment cette partie là qui est ma spécialité, moi c'est plutôt l'e-textile.

Si j'ai bien compris, le principal avantage de ce genre de textiles par rapport aux traitements et manières de monitorer "classiques" c'est que c'est plus pratique ?

Bien sûr ! Clairement, ça va être principalement ça, ça va être la durée aussi des monitoring. Globalement quand vous faites un monitoring à l'hôpital ça va être 20 minutes, si vous êtes là pendant une journée c'est déjà un grand maximum parce que ça coûte beaucoup à l'hôpital d'avoir un lit occupé, surtout en cette période covid justement où on manque de lits, leur nombre est très limité et il est donc important de pouvoir maximiser cette capacité. Avoir des personnes qui sont en observation à l'extérieur, ça peut être beaucoup plus intéressant, surtout pour des cycles qui vont eux-même varier. Je prends un exemple : les femmes enceintes généralement elles font du monitoring pendant environ 20 min quand elles sont à l'hôpital, et on sait que le cycle d'éveil d'un fœtus est d'environ 30 minutes, donc il peut potentiellement être endormi pendant 30 minutes et son activité va être ratée. Donc pouvoir monitorer h24 quelqu'un c'est particulièrement intéressant et c'est surtout intéressant pour les traitements, parce que des études statistiques sur "il y a eu autant de mouvements dans la journée" c'est quand même plus intéressant que "il a eu autant de mouvements sur 10 minutes". Tout simplement parce que, pour moyenniser quelque chose, il faut avoir les moyennes. Si vous faites des moyennes sur une seule montre, votre montre elle n'est pas représentative réellement. Là effectivement, plus on a d'informations (c'est globalement le principe des Big Data, c'est d'avoir énormément d'informations pour pouvoir les traiter automatiquement et avoir une information qui sera plus pertinente).

Est-ce que vous voyez des inconvénients aux textiles intelligents ?

Des inconvénients... Alors à l'heure actuelle il est encore compliqué par exemple de les laver ou de faire de l'entretien en fait de textiles intelligents. C'est principalement leur plus grand problème, tout simplement parce qu'ils accueillent pas mal d'éléments électroniques qui ne supportent pas les lavages tout simplement (l'eau ou tout problème mécanique qu'engendre le lavage). Alors on s'améliore là-dedans, il y a des textiles qui commencent à pouvoir être lavés une cinquantaine de fois, ce qui correspond globalement aux standards actuels de vêtements, mais ça nécessite quand même certaines conditions : il faut enlever la batterie ou des choses comme ça, qui sont susceptibles de plus facilement se casser ou se détériorer en tout cas lors du lavage. Donc c'est pour ça qu'on va souvent avoir des éléments qui vont être amovibles dans les textiles intelligents.

Les textiles intelligents sont beaucoup utilisés (en monitoring comme en soin) ou ils sont encore peu démocratisés ?

C'est en cours de développement je dirais. Tout simplement parce qu'il faut, pour que ce soit du monitoring à domicile, que l'élément soit accepté par le porteur. Si le porteur ne le porte pas, on a pas d'information et ça sert à rien. Et ce genre d'utilisation est encore relativement récente pour que ce soit complètement accepté par l'utilisateur. Donc on a souvent des utilisateurs qui sont plutôt jeunes, qui sont plutôt on va dire proactifs sur les nouvelles technologies et qui n'y voient pas d'inconvénient, mais la plupart des malades qu'on doit surveiller, que ce soit pour les maladies du coeur ou autre, vont être plutôt des personnes âgées qui sont plutôt réticentes en fait, qui ne voient pas l'intérêt d'être mesuré tout le temps. Et du coup c'est cette approche là qui est difficile à faire accepter. Donc je pense que ça va venir parce que la population va se renouveler, mais à l'heure actuelle il y a un facteur, qui est psychologique, qui est l'acceptation du traitement globalement.

Et il n'y a pas de personne qui pourrait être réticente concernant l'enregistrement constant de leurs données personnelles ?

La CNIL vérifie suffisamment bien ce genre de choses en fait, tout simplement. Elle est là pour ça.

Vous avez déjà travaillé avec des entreprises de textiles intelligents ?

Oui, oui, il y en a plein. Il y a Bioserenity qui est encore en grand développement, qui existe déjà depuis quelques années maintenant mais qui continue son fort développement. On va en avoir d'autres après, qui se diversifient en fait, qui sont partis des textiles intelligents et qui sont maintenant un peu plus dans les objets connectés. Mais il y en a d'autres qui commencent à apparaître, au contraire. Donc on a beaucoup d'interactions avec les entreprises mais pas que, on a aussi des intérêts avec l'armée directement qui fabrique ou fait fabriquer, mais en tous cas dans ces contrats là c'est assez confidentiel.

Depuis quand travaillez-vous sur les textiles intelligents ?

Depuis 2015 moi, mais les textiles intelligents sont apparus il y a une quinzaine d'années à peu près.

D'accord, je pensais que leur apparition était plus récente.

Tout dépend de ce que vous considérez plus récent. Sur l'aspect créer un textile intelligent à partir de quand vous considérez que c'est un textile intelligent ? C'est un petit peu comme les différents stades de l'intégration, ce qu'on appelle l'intégration textile des textiles intelligents. Vous la première partie : globalement est-ce que si je mets un ordinateur avec un écran sur un textile c'est un textile intelligent ? Ça c'est ce qu'on appelle le stade 1, c'est-à-dire que j'ai un élément informatique qui marche sans le textile, est-ce que si je le mets sur le textile ça devient un textile intelligent ? Alors oui, mais ce qu'on appelle le stade 1 de l'intégration, on va avoir plusieurs stades comme ça jusqu'à l'intégration complète où l'électronique c'est le textile en lui-même.

J'ai déjà effectué un travail de recherche sur les textiles intelligents dans le cadre d'un DUT Chimie, mais plutôt sur les substances encapsulées dans le textile et élargi sur les e-textiles, mais cela restait plutôt concentré sur le domaine de la chimie.

Donc effectivement là on va plus avoir des personnes qui sont chimistes qui vont le faire, alors que moi je suis plus un informaticien, mathématicien appliqué quoi.

Je ne sais pas si vous êtes en contact avec les personnes monitorées par exemple, mais ce sont directement les patients qui achètent les textiles ?

Alors là ça dépend. Complètement ça dépend du business modèle de l'entreprise. Est-ce qu'elle vend à l'utilisateur final ou est-ce qu'elle vend à l'hôpital ? Et c'est là où il y a de grandes disparités entre les entreprises. Certaines entreprises ont clairement cet objectif de vendre à l'hôpital et c'est le cas par exemple de Bioserenity, qui va plutôt vendre leur produits à l'hôpital pour que l'hôpital le sous-loue ou le prête à leurs patients, parce qu'ils sont vraiment dans quelque chose de très suivi, très important pour le praticien. Si c'est quelque chose qui peut être fait plus dans un domaine, on va dire, domestique, je pense par exemple à tout ce qui va être suivi du sportif, électrocardiogramme, ce genre de choses, là on peut avoir une vente directe aux personnes cibles visées au final, l'utilisateur final, parce que lui va en voir directement l'intérêt et l'hôpital lui n'y voit pas spécifiquement d'intérêt. Donc ça dépend vraiment du business modèle de l'entreprise.

Et pour des textiles destinés principalement à un usage médical achetés par les particuliers, il y a un remboursement possible ?

Ça dépend. Le niveau de remboursement j'avoue que je ne m'y connaît pas du tout, tout simplement parce que c'est quelque chose qui ne me concerne pas. En tous cas, ce qu'il faut voir c'est la réglementation dispositif médical. On peut avoir un dispositif médical qui soit ou pas remboursé par la Sécurité Sociale, c'est pas le problème, mais c'est la Sécurité Sociale qui définit ça. On a aucun pouvoir sur la décision du remboursement ou pas. Par contre, tout ce qui va être dispositif médical doit répondre à certains critères. Je n'ai pas en tête tous les critères, c'est quand même une norme de plusieurs dizaines de pages, voire centaines, donc je ne vais pas tout vous dire là maintenant, mais c'est quand même suffisamment bien encadré sur ce que c'est un dispositif médical. C'est généralement bien expliqué si c'est un dispositif médical ou pas.

Je reviens rapidement à votre projet pour le traitement de l'adénocarcinome : dans ce cas c'était une substance encapsulée ?

Non même pas, c'était juste globalement une pommade où l'agent était intégré, c'est juste une pommade à appliquer et le procédé actif va directement se fixer sur les cellules cancéreuses. Et ensuite la lumière et l'oxygène qui est naturellement présent dans l'air vont juste activer la molécule pour qu'elle libère une toxine. Ça, ça peut se faire aussi dans l'organisme, le souci c'est justement d'y apporter la lumière

parce qu'à l'intérieur du corps il n'y a pas tellement de lumière, et il faut une lumière d'une certaine longueur d'onde forcément. Il y a deux longueurs d'onde qui vont réagir à cette molécule : l'une va juste indiquer sa localisation, elle va juste fluorer tout simplement, et dans la deuxième elle va s'activer. Donc on peut vérifier la localisation et ensuite l'activer. Mais apporter de la lumière au sein de l'organisme, forcément, on va le faire avec ce qui s'appelle un bulbe, des bulbes lumineux, qui va être porté par une fibre optique. Le problème c'est la consommation d'oxygène. L'oxygène on en a dans l'organisme certes, mais il n'y en a pas toujours assez, donc on va faire un traitement qu'on appelle séquencé : on va éclairer pendant deux minutes, puis on va arrêter pendant cinq minutes le temps que l'organisme réoxygène cette zone, puis ensuite recommencer, etc. Donc ça marche également à l'intérieur mais c'est moins ambulatoire forcément.

Et donc si on utilisait une autre pommade par exemple, le textile que vous avez développé pourrait servir pour soigner d'autres pathologies ?

Oui, il y en a beaucoup par exemple qui utilise ce textile là pour de la luminothérapie.

Retranscription entretien Jérémy Martin

Pouvez-vous vous présenter s'il vous plaît ?

Je suis Jérémy Martin et je suis product manager sur Cardioskin qui est un textile connecté pour le suivi ECG, donc ÉlectroCardioGraphique, des patients, plutôt sur le long terme : 14 à 30 jours de suivi.

Depuis combien de temps êtes-vous dans l'entreprise BioSerenity ?

Ça fait 2 ans et demi que je suis à BioSerenity et avant je bossais dans le sommeil et dans la prévention des troubles musculo-squelettiques.

C'était des textiles intelligents aussi ?

Non, le premier c'était Dreem, un bandeau pour le sommeil, et la seconde entreprise c'était Aircup. C'était des semelles connectées faites sur mesure pour mesurer les poids, la position quand tu te baisses, les kilomètres, etc.

Est-ce que vous pouvez me parler de BioSerenity, c'est-à-dire la marque, les produits vendus et à qui ils sont vendus ?

Ouais. BioSerenity, c'est une start-up qui a 6 ans maintenant qui a commencé par faire des dispositifs connectés. Donc le premier c'était le Neuronaute, un bonnet pour faire de l'EEG donc en textile, un textile connecté, intelligent. Ensuite il y a eu Cardioskin, et ensuite l'entreprise a développé du service autour de ces dispositifs. Donc aujourd'hui on propose en neurologie, en cardiologie. Par exemple en cardio aujourd'hui, les établissements sur Paris ils peuvent nous demander un acte, on a nos infirmières qui vont aller équiper le patient, le former, on va suivre le patient pendant l'enregistrement s'il a des soucis avec le dispositif en question, et on va interpréter, on a des cardiologues qui vont interpréter les enregistrements et on va rendre un compte rendu au cardiologue prescripteur. Donc il peut ne même pas voir les signaux, il va juste voir des extraits sur le compte-rendu, pas passer de temps sur l'analyse. Donc ça c'est la partie service. Aujourd'hui on a ces deux parties. L'an dernier, on a racheté deux entreprises aux US, pareil de service en sommeil et en neurologie. Là, on est 600 dans le groupe. On a une partie à Troyes qui est l'usine de production des prototypes et des petites séries.

Et donc à qui on vend ? On vend aux hôpitaux, donc soit on passe par le service, qui va prendre vraiment l'offre complète, il y aura le device et le service associé, soit on vend directement les dispositifs, mais c'est vraiment des dispositifs médicaux, donc sur prescription qu'on vend qu'à des professionnels de santé. Donc on a d'autres produits sur le sommeil pour faire de la polysomnographie. Les trois principaux c'est neuro, cardio et le sommeil. Après on travaille sur d'autres projets moins avancés, plus innovants.

Toujours dans la santé ?

Toujours dans la santé, toujours sur prescription et pas forcément textiles je crois mais essentiellement textiles.

Votre collègue m'avait dit que vous travailliez beaucoup sur le produit Cardioskin, est-ce que vous pouvez m'en parler plus en détail ?

Ouais, donc Cardioskin c'est un textile connecté. Directement dans le textile tu as du fil d'argent, et c'est le fil d'argent qui va être conducteur pour capter le signal. Tu as des boutons pression sur le textile sur lesquels tu vas pouvoir mettre l'enregistreur et la batterie pour l'alimenter. La batterie a une autonomie de 24 heures, donc il faut changer la batterie toutes les 24 heures. Le textile passe en machine, il faut le laver toutes les 48 heures parce que les électrodes vont se gonfler en eau et elles vont garder l'eau pendant 48 heures pour le relâcher entre l'électrode et la peau, ce qui va permettre un bon contact. Parce que le gros challenge du textile c'est d'avoir une bonne qualité de signal parce que l'électrode n'est pas autocollante, elle peut bouger sur la peau, t'as pas de gel conducteur aussi.

Et donc le but de Cardioskin, il y en a deux, c'est de pouvoir faire des enregistrements long terme sans irriter la peau, parce que tout ce qui est autocollant ça va irriter la peau au long terme, et aussi le patient il peut poser et remettre le dispositif par exemple quand il se douche, ou quand il le lave, les électrodes vont automatiquement être placées au bon endroit sur le corps, alors que quand il doit changer ses électrodes lui-même, bah t'as le risque qu'il en oublie une, qu'il ne reclipse pas bien une électrode, qu'il la replace au mauvais endroit, et du coup ça peut changer le diagnostic, etc.

Et les données enregistrées sont récupérées comment ensuite ?

On a une application mobile qui est connectée en Bluetooth qui sert à lancer les enregistrements, ajouter un Wi-Fi, le patient peut notifier un événement pour dire “j’ai mal à la poitrine”, etc. Les données elles remontent en Wi-Fi directement du recorder vers notre lab, on ajoute le Wi-Fi via l’application mobile. On a un mode batch en fait, toutes les 10 minutes le Wi-Fi se réveille, et si le patient a une connexion internet les données sont envoyées. Toutes les nuits, tu rattrapes le retard que t’as engrangé dans la journée si t’as pris du retard.

Ce textile a besoin d’être lavé pour fonctionner si j’ai bien compris, du coup il n’y a pas de problème d’entretien ?

Non, il passe 30 lavages en machines. Après 30 lavages il est mort, il y a des pistes qui cassent, etc. Mais non sinon il n’y a pas de soucis à ce niveau là.

Pour vous c’est quoi les avantages de ce type de textiles comparaison avec les méthodes utilisées habituellement pour mesurer ces signaux?

Alors les retours qu’on a, c’est que les patients trouvent plus confortable le fait d’avoir un textile ou tout est intégré et qu’il n’y ait pas de fils qui pendent, parce qu’aujourd’hui Cardioskin a 15 dérives, donc tu vas avoir des électrodes ici et là, en bas du torse et tout autour du coeur jusque dans le dos, des électrodes V9. Donc t’as 13 électrodes et autant de fils qui pendent sous les vêtements, donc ça peut être quand même assez contraignant. Là tout est intégré, c’est moulant quand même donc il y a une notion de confort, il y a des patients qui le supportent mieux que d’autres parce que c’est assez proche de la peau pour avoir un bon signal, mais par contre ça ne se voit pas sous les vêtements, c’est vraiment discret. Tu ne peux pas mettre un décolleté sinon ça va se voir, mais une chemise fermée tu ne vois pas le produit donc les patients trouvent ça plus simple, plus pratique, plus discret. J’essaie de me souvenir des autres points qu’il y avait... Donc ouais c’était ça et le fait qu’on puisse faire du long terme. Parce que 14 jours avec des électrodes collées, la peau vraiment t’as des irritations, sur certaines personnes tu vas avoir les irritations avant les 14 jours, et nous ce qu’on veut faire c’est jusqu’à 30 jours de suivi parce que pour certaines pathologies c’est important d’avoir 30 jours. On aimerait faire plus, et on fera plus le jour où on aura un device encore plus confortable.

Est-ce que vous avez des retours d’inconvénients de ce textile ?

Alors en inconvénients... Le premier c'est qu'on doit le laver avant la première utilisation, donc ça c'est pas pratique pour les hôpitaux parce que c'est pas forcément facile pour eux de faire ça. Il y a le confort qui n'est pas optimal, ça va dépendre des patients, il y en a certains qui vont mieux le supporter que d'autres. Le coût, parce qu'en fait c'est une solution pour le marché français qui est chère parce que l'ECG est mal remboursé. En fait le remboursement de l'ECG c'est 77 euros si tu fais 24 heures minimum, et si ton enregistrement il fait 14 ou 30 jours c'est toujours 77 euros. Le problème c'est que t'utilises un dispositif qui coûte plus cher que juste 10 électrodes qui coûtent 50 centimes, et puis le médecin a plus de données à analyser, donc il va y passer plus de temps, donc lui il a besoin de gagner sa vie, bien gagner sa vie même parce qu'il a fait 10 ans études etc. Donc c'est un sujet aussi. Voilà, ça va être ça les points principaux, le premier lavage, on s'en rend compte aujourd'hui, le confort à améliorer quand même, et le remboursement. Aux US, ils viennent de créer un nouveau code de remboursement pour les enregistrements 14 jours, c'est remboursé 350 dollars je crois, et puis le modèle de la santé aux US est complètement différent donc de toute façon il n'y avait pas trop le sujet, mais en plus ils ont fait les remboursements. Donc on peut imaginer qu'en France ça va bouger, mais ça n'a toujours pas bougé à ce niveau là.

Est-ce que vous avez des idées d'améliorations, mis à part concernant le remboursement, qui pourraient être apportées aux textiles intelligents ?

Bonne question, je ne sais pas... Je réfléchis parce qu'il ne faut pas que je dise des trucs que je n'ai pas le droit de dire, mais de toute façon sur le textile on a pas de révolution à venir, c'est vraiment je pense sur les électrodes. Aujourd'hui un des défauts c'est la qualité du signal, par exemple on aimerait pouvoir courir avec le textile mais aujourd'hui si tu cours le signal va être mauvais. Déjà il est mauvais avec les technologies classiques, mais là il va être encore plus mauvais parce que l'électrode va vraiment bouger sur la peau. Donc on aimerait avoir de nouvelles électrodes textiles, mais ça on a pas la solution. Ce n'est pas que je ne veuille pas le dire mais aujourd'hui on a pas encore trouvé la solution, nos équipes travaillent dessus. Donc ça ça serait les enregistrements en mouvement de meilleure qualité, ça serait la chose à apporter. Et puis réduire le coût : si on arrivait à faire des dispositifs vraiment pas chers, au prix d'un t-shirt Zara ça serait top, sauf que c'est

des produits très technologiques, donc il y a beaucoup de main d'oeuvre, beaucoup d'actions faites à la main, il n'y a pas vraiment de machines pour ça.

Depuis que vous travaillez dans ce domaine des textiles et accessoires intelligents, vous avez remarqué des changements ou une évolution du marché ?

Alors moi ce que je vois et ce que je suis persuadé c'est que les gens vont être acteurs de leur santé et je pense que le futur ... Alors nous on est très innovant dans la médecine et on va permettre de faire de nouvelles études cliniques, on va permettre de nouveaux diagnostic pour les médecins, mais je pense que la révolution de la santé elle va plutôt passer par des boîtes comme Withings, comme Dreem, donc des choses qui ne sont pas des medical devices mais qui suivent ta santé, comme l'Apple Watch qui permet de faire l'ECG tout seul. En fait le problème de l'Apple Watch aujourd'hui c'est que ça fait de la détection de fibrillation auriculaire : il faut que tu mettes ton doigt sur la montre, et il faut que tu le fasses souvent et avoir la chance de tomber en face. Alors que nous le dispositif il te suit à 100% du temps pendant 30 jours donc si pendant 30 jours t'as pas fait ta fibrillation auriculaire t'as beaucoup moins de chance d'en avoir alors qu'avec l'Apple Watch tu l'as peut-être juste ratée. Mais je pense que tout ça ça va progresser et que ce sera ça la grosse révolution et ce que je vois avancer depuis que je bosse là dedans.

Ce genre de textiles, comme le Cardioskin, est bien accepté par les patients ?

Comme je te disais il y a le sujet du confort, mais étant donné que c'est leur médecin qui leur prescrit ils ne se posent pas trop de questions, ils le portent. Il y en a certains qui râlent, qui disent qu'il faudrait améliorer le confort, etc, mais en général ils le portent jusqu'à la fin de la prescription. C'est pour ça que je te dis qu'aujourd'hui on demande pas au patient de le porter plus de 30 jours parce qu'on sait que le porter 30 jours c'est quand même impactant.

Et donc l'entreprise BioSerenity elle vend surtout en France ?

En France et aux US parce que les rachats font qu'on est sur les business que les entreprises avaient déjà. On cherche, comme quasiment toutes les boîtes de la santé, à se développer aux US parce que c'est beaucoup plus libre en termes de

prix, etc, qu'en France. Mais on fait quand même beaucoup d'actes en France, notamment en neurologie.

Et on a aussi une branche Chine que j'ai oublié, qui est un peu autonome dans le sens où ils ont besoin d'avoir leur propre cloud, ils ont des spécificités réglementaires propres à eux donc on a vraiment une équipe Chine pour le marché chinois, alors que le reste de la boîte est plus monde, global.

Les textiles et accessoires intelligents dans le domaine de la santé

Ces dernières années, les textiles et accessoires intelligents ont connu une hausse de popularité, notamment grâce à l'essor des montres et bracelets connectés. Ces nouvelles technologies peuvent être utilisées dans de nombreux domaines, mais j'ai souhaité dans ce mémoire m'intéresser aux bénéfices que ces dispositifs peuvent apporter au domaine médical, que ce soit pour le monitoring des patients ou pour le soin. J'ai donc voulu me pencher tout d'abord sur les textiles et accessoires intelligents en général, pour comprendre toutes les possibilités qu'offrent ces innovations, pour ensuite préciser mon analyse dans le secteur de la santé puis sur un dispositif particulier utilisé dans la médecine. J'ai ensuite réalisé une étude du marché actuel et futur des textiles intelligents avec le point de vue des consommateurs mais aussi des professionnels du domaine. Pour terminer, vous trouverez également dans ce mémoire quelques recommandations d'actions à effectuer qui pourraient contribuer à la croissance de ce marché et à la généralisation de l'utilisation des textiles intelligents.

Mots-clés : e-textiles, accessoires connectés, capteurs, texticaments, monitoring longue durée, soin en continu, télémédecine

Smart textiles and accessories in healthcare

In recent years, smart textiles and accessories have increased in popularity, especially with the rise of connected watches and bracelets. These new technologies can be used in many fields, but in this thesis I wanted to focus on the benefits that these devices can bring to the medical field, whether for patient monitoring or for care. I therefore wanted to look first at smart textiles and accessories in general, to understand all the possibilities offered by these innovations, to then specify my analysis in the health sector and then on a particular device used in medicine. I then carried out a study of the current and future market of smart textiles with the point of view of consumers but also of professionals in the field. Finally, you will also find in this thesis some recommendations of actions to be taken that could contribute to the growth of this market and to the generalization of the use of smart textiles.

Keywords: e-textiles, connected accessories, wearables, sensors, texticaments, long term monitoring, continuous care, telemedicine