

Avant-propos

Public concerné par cet ouvrage

Cet ouvrage s'adresse à toutes les personnes qui, de près ou de loin, vont être confrontées aux conceptions de fibres, tissus, textiles, vêtements rentrant dans le domaine des vêtements intelligents et bien sûr aux professionnel(le)s et aux nombreux étudiant(e)s de toutes ces branches et/ou personnes curieuses de ce (presque) nouveau domaine qui couvre de vastes et multiples aspects physiques, biochimiques, technologiques, techniques, industriels, marketing, etc. Cet ouvrage effectue volontairement un assez profond « mélange » de ces ensembles, ce qui permet aux membres de chacun des « clans » de pouvoir combler un bout des fossés les séparant des uns des autres.

Le niveau technique

Il n'y a pas de niveau technique spécifique d'accueil. Tout le monde est le bienvenu, mais tout au long de l'ouvrage, il y a une volonté de satisfaire la curiosité du lecteur et de monter le niveau d'accueil des lecteurs assez rapidement.

La pédagogie

Par ailleurs, en plus de leurs longues activités purement professionnelles et industrielles, pendant de très longues années, Pierre et Dominique ont exercé simultanément des activités d'enseignants (en écoles d'ingénieurs) et de formateurs pour experts. De ce fait, le langage et le ton se veulent résolument courants, agréables, mais attention très précis et, pour imager l'ensemble, de très nombreux exemples d'applications sont présentés. Il y a également une volonté pédagogique constante dans l'ouvrage car, à notre sens, écrire pour soi-même ne rime pas à grand-chose. De plus, nous avons disposé de très nombreux tableaux de synthèse, de petits secrets et des anecdotes au fur et à mesure

du texte. En un mot, cet ouvrage est pour vous, pour le plaisir de comprendre, d'apprendre, de se faire plaisir et de rester « techniquement » et « textilement » vôte !

REMARQUE. Bien sûr, il y aura de nombreux points communs à certains déjà rencontrés et décrits dans l'un ou l'autre de nos précédents ouvrages. Dans ce cadre-là, certaines répétitions seront donc obligatoires dans ce livre mais, hélas, ce sera le prix à payer si l'on désire que ce dernier puisse représenter une entité sur ce nouveau domaine. Nous demandons donc à ce que nos lecteurs fidèles et assidus soient indulgents et ne nous en tiennent pas trop rigueur.

Préambule

Tout d'abord, annonçons immédiatement la couleur :

– ces sujets ne sont pas fondamentalement nouveaux et des centaines d'articles ont déjà défloré individuellement ces thèmes, mais du fait de nombreuses applications nouvelles et des avancées de certaines technologies (composants très basses consommations, composants/systèmes très intégrés, *energy harvesting*, etc.), ils reprennent de la vigueur ;

– à ce jour (fin 2021), il reste encore quelques *roadblocks* à leurs mises en œuvre concrètes et industrielles que nous décrirons en détail ainsi que la manière d'en résoudre certains ;

– par ailleurs, cet ouvrage ne se veut pas, n'est pas, ne sera pas une encyclopédie des systèmes biocapteurs, notamment en graphène et des *Intra-body Communications* (textiles-vêtements intelligents et connectés). Il existe sur ce sujet de très nombreux articles sur le Net plus ou moins détaillés échafaudant de grandes et belles envolées théoriques, de marchés variés à venir de toutes espèces, de chiffreages commerciaux. Pour notre part, après certains « piochages » sur le Net, nous tâcherons de vous en présenter des synthèses constructives ;

– en outre, n'étant pas amateurs de redondances improductives, nous nous sommes uniquement concentrés sur les sujets sur lesquels on trouve beaucoup moins d'articles, c'est-à-dire le côté technique terre à terre, quotidien de ce domaine afin que cet ouvrage vous serve de guide, de ne rien oublier et d'éviter les chausse-trappes pouvant survenir lors de la conception et la concrétisation de patches, vêtements intelligents, connectés et sécurisés. C'est le but et l'âme cachée de cet ouvrage. En parler, faire de beaux discours, de belles conférences, de belles démonstrations, c'est bien, mais réaliser concrètement, physiquement un vêtement intelligent et connecté à vues commerciales et réussir à le vendre en quantité, à un prix raisonné et raisonnable, c'est encore mieux, sinon autant ne rien faire, sans tapage inconsidéré.

Introduction

En ce début de seconde décennie du XXI^e siècle, notre société, notre environnement, notre mode de vie, notre moyenne d'âge, la manière de souhaiter s'occuper de son corps, les législations du travail, la pandémie Covid et ses répercussions, etc., changent beaucoup. Parmi les premiers rangs des mots-clés de cette époque, nous trouvons fréquemment les termes de « Santé », « Bien-être », « Loisirs », « Sport », « Environnement au travail », « Sécurité », « Protection individuelle » et toutes les constellations de leurs dérivés.

Aussi, depuis de nombreuses années, après avoir accompagné avec un brin d'avance cette évolution avec de nombreux ouvrages dédiés (Paret et Huon 2017) dans lesquels nous avons commencé à prendre un virage concernant les grandes lignes des applications des *wearables* et *smart textiles* (Paret et Crégo 2019), nous avons eu aujourd'hui encore envie de nous intéresser à une intégration encore plus poussée d'une électronique de patches autonomes dans le monde des vêtements intelligents professionnels ou grands publics incluant des capteurs et des biocapteurs communiquant bien sûr avec le monde extérieur mais aussi entre eux pour leur propre usage. De plus, si l'on veut que ces « vêtements intelligents » voient le jour industriellement en grande quantité, il faut viser dès à présent le but final d'applications réelles quotidiennes, de production de grandes séries (et non en « manip de labo » ou de « POC »), donc à des coûts raisonnables et répondant bien sûr aux critères d'applications des produits (types d'usages, tissus souples, résistants, bonne tenue en nombre de lavages, en température, etc.). Peut-être sera-ce encore un rêve pendant encore quelques années, mais tel Jules Verne, il faut bien l'exprimer un jour... et ici, c'est aujourd'hui !

Pour en revenir à du concret, à ce jour dans l'ensemble de ce domaine, nous n'avons trouvé soit que des ouvrages très spécialisés, des thèses universitaires de doctorat, de grands articles et/ou traités de (bio)chimie, soit encore que des ouvrages simplistes, des

articles de vulgarisation provenant de start-up sur un aspect particulier et spécifique de ce domaine. À l'exception de certains documents et ouvrages cités en bibliographie, nous sommes face à un certain désert. De plus, après avoir longuement circulé sur le terrain, nous nous sommes rendu compte d'un manque de connaissance des potentialités du monde réel de l'électronique et de ce qui touchait de près à leurs connectivités radiofréquences en fonction de leurs applications dans le monde du textile, tissus et vêtements intelligents, ce qui est tout à fait compréhensible, à chacun son métier !

Après ces constatations et nombreuses discussions avec des collègues professionnels et ami(e)s, nous avons pris une fois de plus notre courage cette fois-ci à six mains pour explorer ces domaines et, en espérant qu'il couvre une modeste partie de ce vide, nous avons opté pour la réalisation de cet ouvrage essentiellement technique conçu autour des « (multi) biocapteurs et patches à base de graphène et les *Intra-body Communications* pour et dans les vêtements intelligents » pour des applications dans les domaines santé, bien-être, sport, loisirs, etc., dont la percée dans le domaine grand public est maintenant imminente.

I.1. Finalité de cet ouvrage

Le cœur de métier des co-auteurs de cet ouvrage se situe au niveau de la recherche technique applicative à un horizon de 4 à 8 ans. Cela semble un peu lointain à certains mais cela arrive vite et dans ce cadre-là, nous effectuons journellement des pré-faisabilités techniques détaillées et nous descendons souvent jusqu'aux vraies faisabilités d'un projet. Il y a quelques années, après diverses discussions avec des clients, un projet à (re)fait surface, celui d'un vêtement intelligent, volontairement non spécialement professionnel, destiné à des applications autour de la santé ou du bien-être, c'est-à-dire un vêtement ayant pour but d'assister l'individu qui le porte grâce à des mesures effectuées par des capteurs ou des biocapteurs intégrés à ce vêtement. Évidemment, le fond de ce projet n'est pas du tout nouveau, mais en se penchant en détail sur le sujet, de nombreux points restent encore réellement à élucider pour le réaliser.

REMARQUE. Aussi, afin d'aider le lecteur à élaborer sa propre réponse à ces questions, la finalité de cet ouvrage est donc, dans le cadre de l'utilisation d'un vêtement « normal », souple, léger, agréable, lavable, et non pas un vêtement professionnel, de clinique ou d'hôpital :

- d'examiner les diverses techniques, technologies, matériaux, etc., pouvant être employés pour la réalisation de patches avec biocapteurs et bioprocresseurs de toutes sortes intégrables ou non dans des vêtements ;
- d'examiner les types de moyens de communication permettant également que ces patches puissent si besoin communiquer entre eux en miniréseau autrement que par des liaisons filaires ou RF totalement inappropriées au confort du vêtement ;

- que le tout fonctionne bien sûr totalement sans pile ni batterie à remplacer, à retirer, etc. ;
- le tout à un coût raisonnable.

Et là, croyez-nous, le problème devient beaucoup moins simple !

Maintenant que le contexte général de l'ouvrage est introduit, tout au long de celui-ci, nous allons vous entraîner aux fins fonds des méandres qui se cachent derrière le très long titre de cet ouvrage.

1.2. Architecture de l'ouvrage

Pour répondre à ses finalités, examinons le détail de l'architecture de l'ouvrage.

Dans le domaine que nous allons présenter, il faut être capable de savoir parler simultanément textiles, vêtements, capteurs, chimie, biochimie, technologies des biocapteurs, électronique, communications, réseaux, etc., et le langage juridique. Être très performants dans tous ces domaines en même temps est une gageure. C'est la raison pour laquelle des experts, spécialistes de chacun de ces domaines ont eu la gentillesse de collaborer avec nous à la conception de cet ouvrage afin de couvrir de manière cohérente la globalité de ces domaines, car il est nécessaire d'avoir une vue d'ensemble avant d'entrevoir le début de la conception d'un vêtement intelligent à destination des applications grand public ou professionnelles de type santé, bien-être, sport.

Cet ouvrage tente donc de faire de façon simple, technique et accessible une synthèse claire et précise concernant d'une part la globalité des vêtements intelligents, des patches à biocapteurs, et d'autre part celle des *Body Area Networks* (BAN) au sens large et particulièrement celle des *Intra-body Communications* autour des textiles. De plus, afin que la lecture de ce voyage pluri et interdisciplinaire technique, économique, ergonomique, autour du vêtement intelligent de demain soit cohérente, agréable et que vous puissiez vous y retrouver aisément, nous avons opté pour une architecture divisée en deux grandes parties et une conclusion.

1.3. Contenu et plan de l'ouvrage

Au cours de l'introduction, nous positionnons globalement l'ouvrage dans le futur paysage des patches pour applications pour la santé, bien-être, sport, etc., incluant les sujets des objets connectés, de sécurité *hard* et *soft*, des microcapteurs conventionnels, des

fibres/textiles/tissus intelligents, des communications IBC (*Intra-body Communications*) et des nouvelles technologies pour ces applications.

– Partie 1 – « Vêtements, patches intelligents et biocapteurs »¹ – est divisée en deux chapitres. Le premier chapitre est consacré à la spécificité et la délimitation du périmètre de la branche de l’habillement et plus spécialement à la branche des vêtements dits « intelligents », sous-entendu celle des vêtements intégrant et/ou comportant de l’électronique à leurs bords. Il est d’ores et déjà à noter que les limites de ce périmètre sont vastes, car en dehors du vêtement lui-même, cela nous amènera à prendre en compte et en détail toutes les limites et contraintes de tous types (réglementaires, sanitaires, etc.) auxquelles les usages de ce « vêtement intelligent » sont soumis et qu’ils doivent satisfaire, et ils sont très nombreux, pour savoir comment ces capteurs et patches pourront s’inscrire industriellement dans ce concept. Le second chapitre, « Biocapteurs et technologie graphène », s’intéresse longuement aux techniques et technologies des biocapteurs les plus sollicités dans ces applications santé, bien-être, sport, etc., pouvant être aptes à supporter les contraintes de toutes sortes des vêtements (lavages, repassages, etc.), leurs ports quotidiens (souples, légèreté, etc.). Cela nous entraînera vers des chemins de pure chimie, biochimie, biologie, électronique, etc., et à la connaissance de nouveaux matériaux ayant des performances telles que celles du **matériau graphène** servant de plateforme générique possible à la conception de nombreux biocapteurs.

– Partie 2 – « Le biocontrôleur » : arrivé à ce stade de notre épopée, nous serons apte à savoir comment procéder à la conception et réalisation d’un patch, élément comprenant le bioprocasseur (chapitre 3), son électronique, son alimentation en *energy harvesting* (sans pile bien sûr) (chapitre 4). Puis il restera encore à franchir une dernière étape qui est celle dans laquelle le patch, le vêtement et son application peut d’une part nécessiter de communiquer à l’aide de ses propres moyens de communication vers le monde extérieur, etc., pouvant être totalement intégrés dans un vêtement et communiquer localement lorsque d’autre part plusieurs patches sont disposés en différents endroits et lorsque de plus, ceux-ci doivent communiquer en réseau entre eux, sans fil. Ce sera la découverte de l’*Intra-body Communication* (IBC) (chapitre 5) effectuée au travers du corps et qui sera réalisée grâce aux patches disposés dans le vêtement.

– Conclusion – Cet ouvrage se termine avec un exemple détaillé : « Concrétisation d’une solution patches et la réalisation technologique de patch intégrable dans un vêtement avec communications possibles en réseau IBC. » L’aspect coût sera également évoqué ainsi que les performances et les limites de l’IBC dans le cadre de ces applications.

Sur ce, la route étant longue, commençons par le monde du vêtement.

1. Cette partie a été conçue avec les aides amicales de M^{mes} Florence Bost, directrice de la société textile *Sable chaud* et de Maîtres Naima Alahyane Rogeon et Isabelle Pottier du cabinet d’avocats Alain Bensoussan – Lexing.

I.4. Applications « vêtement intelligent (VI) » envisagées : les patches

Revenons quelques instants à notre unique finalité, celle de concevoir un vêtement intelligent (baptisé VI tout au long de cet ouvrage pour de simples raisons typographiques) utilisé dans de multiples applications, santé, bien-être, sport, etc. Avant d’aller plus loin, il faut définir comment rendre ce vêtement « intelligent » vis-à-vis des applications envisagées. Pour cela, il sera nécessaire de lui adjoindre un ensemble électronique qu’au cours de cet ouvrage, nous appellerons globalement **patch**, effectuant les liens entre le côté paramètres « bio » mesurés de l’individu, le vêtement et les services à rendre ou rendus.

I.4.1. Synoptique fonctionnel d’un « patch »

Le synoptique fonctionnel du contenu technique de ce patch est présenté dès à présent en figure I.1. Il est principalement constitué d’un biocapteur (conçu par exemple autour d’un matériau graphène) et d’un (super)biocontrôleur comprenant différentes sous-fonctions. Tout au long des chapitres de cet ouvrage, ce synoptique servira de canevas au déroulement de la description des détails des fonctions et sous-fonctions du patch.

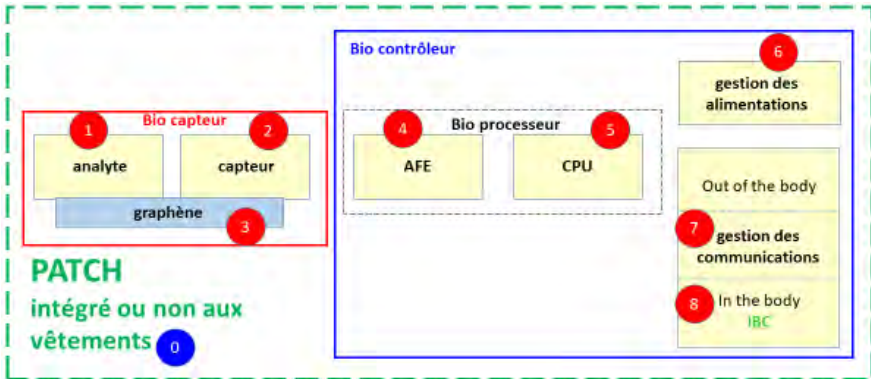


Figure I.1. Synoptique du « patch »

Nous venons d’évoquer des patches, mais lesquels sont-ils, pour quelles applications ?

Globalement, nous désirons utiliser des patches ayant à leurs bords des capteurs et/ou biocapteurs afin d’effectuer des mesures et des suivis de paramètres biométriques des individus et que ceux-ci soient collés à la peau ou bien qu’ils soient incorporés/intégrés directement dans la structure même de vêtements souples, légers, grand public pour applications sport, bien-être, troisième âge, etc., ne provoquant aucune gêne à leurs porteurs – donc non intrusifs – et donnant l’impression que le vêtement est absolument normal (voir figure I.2).

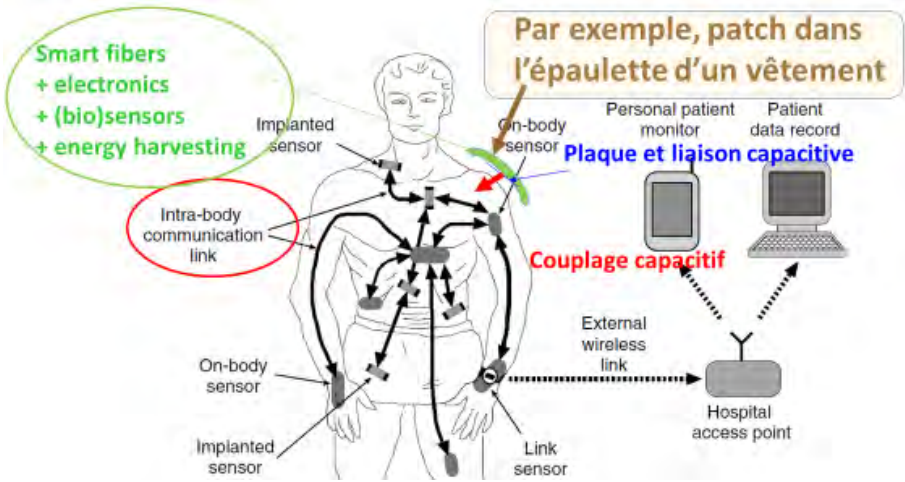


Figure 1.2. Exemple générique d'applications avec patch intégré directement au vêtement

Deux grands axes de travail et d'applications se dessinent autour de ces biocapteurs.

1.4.2. Biocapteurs « physiques/mécaniques »

La réalisation de (simples ou multi) biocapteurs est ce que nous caractériserons de « physiques/mécaniques ». Il est possible à ce jour de fabriquer des tissus génériques qui permettent la mesure d'éléments biologiques du corps humain par des moyens capacitifs, résistifs et par bio-impédance (tels que ceux que l'on trouve usuellement par exemple pour les mesures d'un rythme cardiaque) qui peuvent être soit collés sur la peau, soit directement intégrés dans le tissu (par exemple : capteur piezo). Donnons des exemples.

Le fil électroconducteur permet de définir une gamme de capteurs flexibles sans compromettre les processus actuels de fabrication des vêtements ni les qualités obtenues (confort, lavage, propriétés mécaniques, etc.). Dans cette démarche, le fil textile électroconducteur classique est coûteux. Cependant, grâce à des procédures de vaporisation ou de teinture, il est possible de réaliser de tels fils lavables, pliables et flexibles. Dans ce cas, il est nécessaire de savoir formuler le matériau (par exemple, le graphène) adapté à ce procédé. Ces fils sont ensuite tricotés afin de pouvoir réagir aux données pression, température, sueur que l'on souhaite mesurer et concentrer *via* un bracelet ou une montre.

EXEMPLE 1. Capteur de pression résistif : réalisé *via* deux tissus et une trame de pistes conductrices parallèles qui insèrent un élément semiconducteur. Une bonne partie de la démarche est de savoir formuler l'élément semiconducteur à base de graphène modifié. La force de pression fait varier la valeur de la résistance de manière répétitive et facilement prévisible (voir figure I.3).

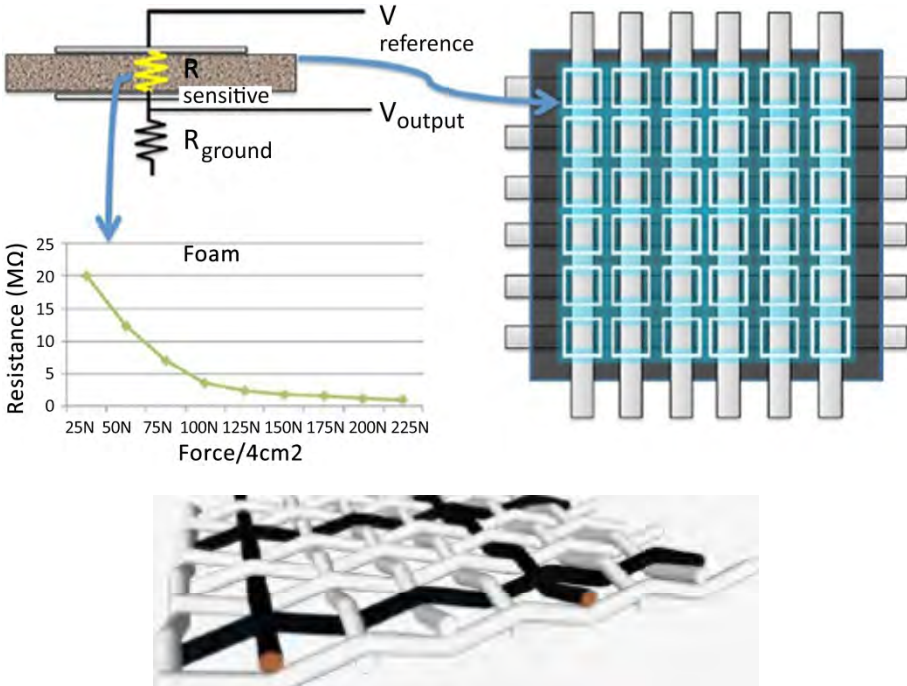


Figure I.3. Exemple de capteur de pression résistif (source : Sefar)

EXEMPLE 2. Capteur de température tissé : les tissus connectés, les appareils de type bracelet ou bandana fournissent des mesures qui peuvent varier en fonction du point de mesure et qui peuvent être contestées par le domaine médical. Dans ce cas, les capteurs « patches » épidermiques pourront répondre aux exigences médicales en termes de forme, portabilité et qualité du signal. En revanche, ces tissus connectés sont facilement exploitables par les secteurs industriels tels qu'automobile, transport et industrie.

REMARQUE. Les patches conçus à base de graphène ont l'avantage d'être biocompatibles avec le corps humain.

1.4.3. *Biocapteurs « biologiques/chimiques »*

La réalisation de (simples ou multi) *biocapteurs* que nous caractériserons de « biologiques/chimiques » ayant à leurs bords un analyte (voir chapitre 2) et nécessitent d’avoir un rapport direct (constant ou intermittent) avec une zone spécifique de la peau, qu’ils soient liés ou non à des vêtements (exemple pansement). Dans les deux cas évoqués ci-dessus cela implique que le patch soit très petit, très mince, léger (sans pile)... bref, selon l’expression bien connue, conçu pour.

Pour être exhaustif, il faut encore subdiviser ces axes de réflexions *biocapteurs* en deux nouveaux axes que sont les patches dits « isolés » et les « réseaux locaux de patches ».

1.4.4. *Patch « isolé »*

C’est le cas le plus simple. Un patch peut être « isolé » (dans ce cas un seul patch est supporté par l’utilisateur) et peut avoir par exemple qu’une fonction de pansement ayant sa propre alimentation, et communiquant *on request* avec un interrogateur par exemple *via* une liaison NFC ou Bluetooth.

1.4.5. *Réseau de patches*

Dans d’autres cas d’applications, il est possible qu’il soit nécessaire et/ou obligatoire de posséder/disposer dans un même et unique vêtement intelligent plusieurs (deux, trois, etc.) patches. Ceux-ci peuvent être :

- soit totalement isolés les uns des autres et fonctionner chacun de façons totalement autonomes ;
- soit ayant par tranches de temps à communiquer ensemble et à former un mini réseau local de communication dit BAN (*Body Area Network*).

Dans cette dernière hypothèse, le choix du moyen de communication entre patches se pose. Ce moyen pourra alors être réalisé par des :

- liaisons filaires : d’emblée nous ne retiendrons pas cette solution incommode à souhait et assez rétrograde ;
- liaisons radiofréquences RF : sur le principe, cette solution peut être retenue et, que ce soit en Bluetooth ou autre, elle implique la présence de composants additifs qui vont à l’encontre de la finalité économique du projet de cet ouvrage ;
- liaisons *Intra-body Communication* (IBC) : cette solution de communication s’effectuant à travers le derme, l’épiderme, la graisse des porteurs de vêtements annule les

problèmes inhérents aux deux premières solutions évoquées ci-dessus et peut si nécessaire résoudre les problèmes de communications entre les patches. Nous évoquerons cette solution très en détail par la suite (chapitre 5), mais d'ores et déjà, en restant simple, l'application concrète IBC peut s'envisager selon deux types de fonctionnements :

- soit en mode « galvanique » : dans ce cas, le patch doit être en contact direct avec la peau, solution qui peut être contraignante pour l'utilisateur et que de préférence, nous ne retiendrons que rarement dans cet ouvrage ;

- soit en mode « capacitif » : dans ce cas, le patch n'est pas en contact direct ou qu'épisodiquement avec la peau et la liaison s'effectue par couplage capacitif entre le patch et la peau, ce qui sur le principe est techniquement plus délicat mais beaucoup plus intéressant du côté non intrusif du dispositif et offrant la possibilité de l'insérer dans le vêtement.

C'est dans ce dernier type de fonctionnement que nous exposerons principalement dans la suite de cet ouvrage et le patch sera soit collé/collable sur le corps ou directement intégré au vêtement. La figure I.4 résume l'étendue des possibilités et paradigmes pouvant être retenus.

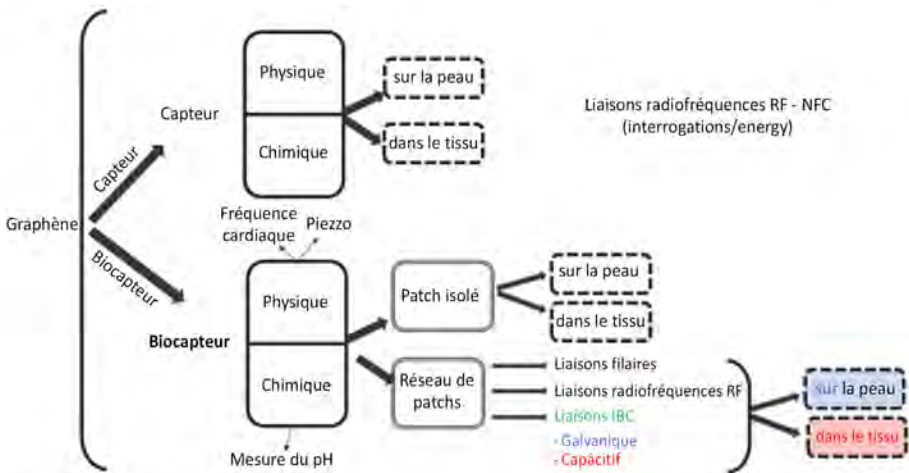


Figure I.4. Paradigmes de conceptions et de réalisations de patches

I.5. Domaines applicatifs des patches en VI

La technique est bien belle, mais hélas il faut bien vivre (lire, faire du chiffre d'affaires, etc.) avec des projets concrets et il devient donc tôt ou tard nécessaire de s'intéresser aux aspects applicatifs et commerciaux. Cet ouvrage se focalise donc principalement sur les secteurs d'activités pour lesquels e-textiles et VI présentent de l'intérêt.

Afin de situer le contexte technico-commercial dans lequel va évoluer cet ouvrage, nous allons commencer par introduire quelques réflexions générales concernant la branche industrielle du textile et du vêtement, de son économie, son marché et de sa politique et celui des projets à forte valeur ajoutée relevant explicitement du champ des « vêtements intelligents » tels que le médical, la santé, le bien-être, la sécurité, la protection *via* les vêtements de protection professionnels ou encore la traçabilité/antivol et, au-delà de ces projets, le sport, la mode, la décoration de la maison, les loisirs créatifs, etc., dont la tendance industrielle et commerciale est à 5 ans. L'avenir est donc là !

Examinons à présent rapidement les principales locomotives de ces marchés.

1.5.1. Santé, médical

Les champs d'applications possibles de ces patchs dans ces marchés sont très vastes et sont en plein essor, cela est dû à différents paramètres :

- en France, l'une des conséquences de la transition démographique se traduit par la baisse de la fécondité et l'augmentation de l'espérance de vie. Cela entraîne l'augmentation de la part de personnes âgées de 65 ans et plus, passant de 13,9 % en 1990 à 18,8 % en 2016. Le vieillissement devrait se poursuivre en Europe et la part des personnes de 65 ans et plus serait de 28,5 % en 2050 ;
- les territoires peu denses accueillent une forte proportion de personnes âgées et l'enjeu principal pour ces populations devient donc le problème de l'isolement et de l'accessibilité aux services.

Les « patchs santé » pouvant communiquer avec le monde extérieur sont donc l'une des solutions permettant de remédier à l'isolement des personnes âgées puisqu'elles pourraient être reliées à distance à des médecins qui pourraient suivre en direct différents paramètres de santé et, pour le bien-être et le défi du vieillissement des personnes, permet de baisser les coûts des solutions proposées en permettant des soins et un maintien à domicile des utilisateurs/patients dans de bonnes conditions.

Il est donc important de :

- définir une architecture de supervision à distance de personnes dépendantes *via* un vêtement connecté afin de faciliter les interventions des soignants et des aidants ;
- mettre en mode connecté un ensemble de patchs intelligents pour supervision d'une personne en mode proximité/distant ;
- créer des applications de transferts temporaires de droits et/ou d'accès physiques de personne à personne pour des lieux particuliers et sensibles (salles sécurisées de pharmacie, zones réservées, etc.) ;

- relever à proximité et à distance des données physiologiques de la personne dans une architecture IAAS (par exemple, traitement du diabète *via* une chaussure diabétique connectée) ;
- apporter une gamme de patches capteurs/senseurs connectés et une surveillance continue de patients à risques (le Covid a été très générateur de téléconsultations et de confinement dans les EPHAD).

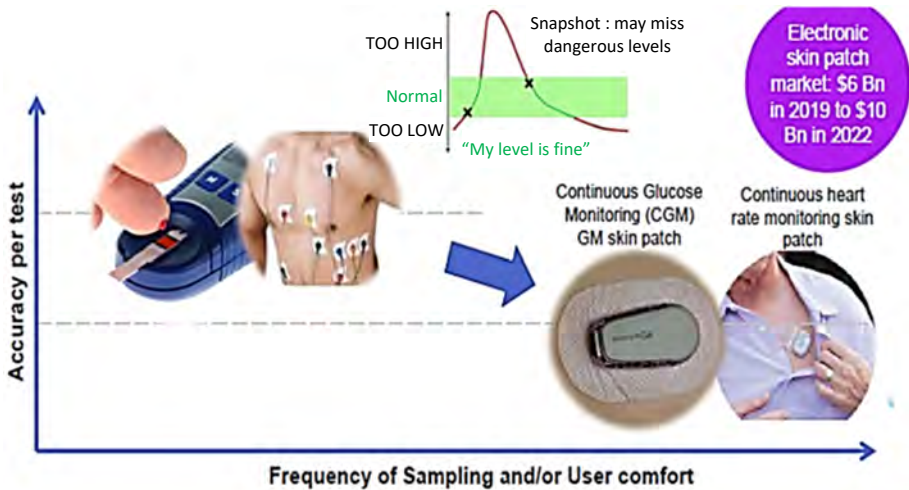


Figure 1.5. Exemples d'applications du simple capteur au patch

1.5.2. Sport, bien-être et loisir

Le marché du sport, du bien-être et des loisirs est également très dynamique grâce à la montée en puissance des sports et disciplines d'entretien : *running*, *aquabiking*, fitness, yoga notamment chez les femmes et l'engouement pour le *quantified self* qui conduit à une amélioration de ses propres performances. Dans ces cadres et celui du bien-être, il s'agit de rassurer et de prévoir des situations à risques : définition d'une gamme de « secondes peaux » connectées types genouillères, brassières, bandeaux élastiques dont les applications seraient : supervision à distance et mesure des efforts physiques pour les séances d'entraînements et de compétition.

1.5.3. Équipements de protections individuelles (EPI) et conditions de travail

Du côté professionnel, le marché des équipements de protections individuelles (EPI) industriels/professionnels et de surveillances des conditions de travail est en croissance

régulière et génère une forte demande de matériaux légers, résistants et interactifs, aussi bien sur les marchés civils que militaires (nous y reviendrons) :

- collaborateurs ou personnes exposées à des situations à risques (bruits, chaleur, à forte intensité physique (sportifs) ;
- contrôle d'accès véhicules (appairage véhicule/conducteur) ;
- *monitoring* des temps de conduite ;
- travailleurs isolés ;
- réalité augmentée ;
- posturologie ;
- mesures des efforts physiques ;
- contrôle d'accès physique et logique ;
- contrôle d'accès zones sensibles (Seveso, OIV, grandes administrations dans le cadre de la loi de programmation militaire (LPM)).

À noter que parmi les éléments évoqués participant et ayant un rôle possible à la surveillance des paramètres de ces domaines, nous trouvons notamment deux branches d'articles possédant très souvent de l'électronique, soit des patches à coller directement sur la peau soit des patches inclus dans les vêtements, qui deviennent par ce fait « intelligents ».



Figure I.6. Exemple de veste/parka EPI (source : DuPont)

I.6. Taille du marché

Les potentialités de ces marchés ayant un avenir commercial dans les domaines santé, bien-être, sports et loisirs et industriel sont présentées très rapidement en figure I.7 qui, pour fixer les idées, indique quelques chiffres de la taille de ces marchés.

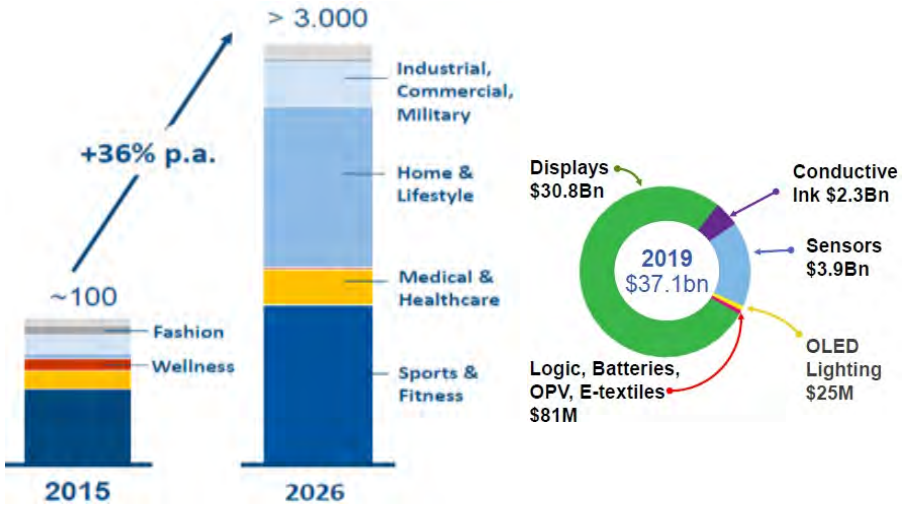


Figure I.7. Taille du marché électronique imprimé, organique et flexible

I.6.1. Définition du business model

Parallèlement et en amont de tout cela, au niveau du patch et de son environnement immédiat, avant de s'engouffrer pendant de long mois dans un projet, il est important en amont d'avoir une idée concrète/de connaître sa rentabilité prévisionnelle. Il est donc important de s'intéresser et de définir quels sont les types de *business models* envisageables à entrevoir et ensuite, à partir de ceux-ci, de pouvoir globalement déterminer et savoir où sera/est l'intérêt économique d'un tel concept, à quel niveau, et pour qui. Pour cela, il faut procéder aux estimations du prix final du patch, du prix du système, des types d'utilisations/emplois/nécessités/etc., des types d'utilisateurs potentiels, des vendeurs/acheteurs.

Prenons l'exemple d'un *business model* indiqué en figure I.8 dans le cadre de la télé-surveillance ou assistance à distance d'une personne.

Une analyse fine du modèle économique de cette chaîne de valeurs fait ressortir que le prix est fortement lié au niveau de l'achat du matériau des capteurs (par exemple : graphène de qualité), mais aussi que la finalité du projet est de collecter des données de santé pour que les utilisateurs puissent suivre en temps réel l'évolution de certains de ses paramètres vitaux. Dans le *business model* de ce projet, la vente de ces données de santé représente l'un des intérêts majeurs économiques et de plus l'exploitation/vente des informations recueillies par l'ensemble des patches applicatifs semble pérenne dans le temps. À terme, les gagnants de ce *business model* seront ceux qui sauront :

- produire du graphène de qualité (exfolié, liquide, etc.) à des prix raisonnables ;
- produire des capteurs intégrés (multicapteurs) sur un plan industriel et à des coûts faibles ;
- produire des IoT applicatifs intégrant les capteurs largement connectés et autonomes en énergie ;
- proposer des architectures cloud de traitement de données avec une forte composante d'intelligence artificielle pour prédire les comportements humains, l'évolution de la santé des humains, des plantes.

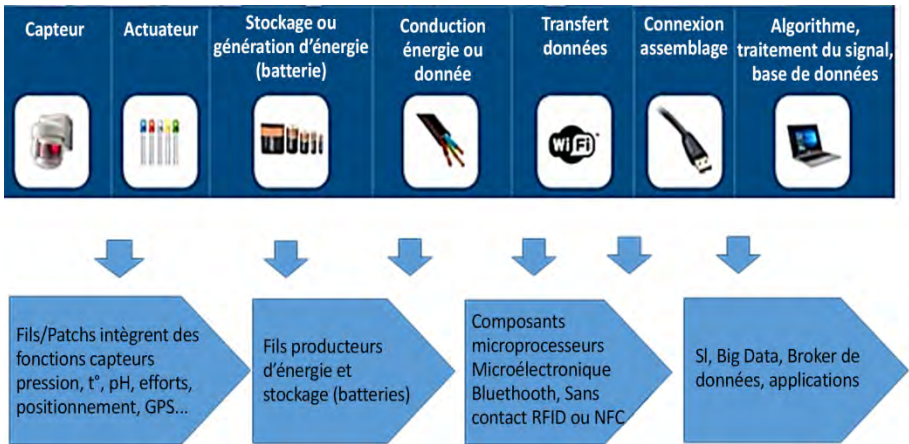


Figure I.8. Chaîne de valeurs d'une solution à but de télésurveillance

I.7. Quelques commentaires

Compte tenu du peu de fabricants de patches qui intègrent du graphène, il y a beaucoup de valeur ajoutée dans la conception et fabrication. Il y aura également beaucoup de valeur ajoutée dans les patches qui seront autonomes en énergie. À ce jour, ces capteurs sont plus souvent au stade du laboratoire que de la production en masse. Cependant, le marché déborde d'études et de démonstrateurs.

En ce qui concerne les composants micro-électroniques, le marché propose des composants mûres qui sont encore perfectibles sur le plan de leurs consommations et de leurs mises en œuvre logicielles car il manque des briques logicielles type API adaptées à ce secteur.

Sur le plan du traitement de données en volume (Big Data) et l'organisation de la vente de ces données, il ne faut pas oublier que les études de la définition de différents *business models* des applications possibles/envisageables doivent également tenir compte de problèmes de cybersécurité, des contraintes du cadre de la réglementation RGPD par secteur (médical, bien-être, etc.), entre autres.

Maintenant que le décor global est planté, commençons donc par examiner les contraintes que devra subir ce patch dans l'environnement du milieu des vêtements.