

Analyse du potentiel d'application des textiles intelligents en santé et en sécurité au travail

Patricia Dolez
Justine Decaens
Thibaut Buns
Dominic Lachapelle
Olivier Vermeersch
Jacek Mlynarek

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-1029



NOS RECHERCHES travaillent pour vous !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement :

- au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CNESST (preventionautravail.com)
- au bulletin électronique [InfoIRSST](#)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2018
ISBN : 978-2-89797-024-6
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
septembre 2018

Analyse du potentiel d'application des textiles intelligents en santé et en sécurité au travail

Patricia Dolez, Justine Decaens, Thibaut Buns, Dominic Lachapelle, Olivier Vermeersch, Jacek Mlynarek

Groupe CTT

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-1029



Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.



ÉVALUATION PAR DES PAIRS

Conformément aux politiques de l'IRSST, les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

Ce projet a bénéficié de la contribution de plusieurs personnes œuvrant dans l'industrie des textiles et le domaine de la santé et de la sécurité au travail (SST) pour l'identification des besoins liés aux limites des textiles traditionnels et des problématiques actuelles ou potentielles liées à l'usage des textiles intelligents en santé et en sécurité au travail : des conseillers en prévention des associations sectorielles paritaires et des associations professionnelles, des représentants d'entreprises manufacturières et utilisatrices d'équipements de protection, et des chercheurs en SST. Toutes les informations qu'ils ont très gentiment fournies ont permis à cette étude de s'arrimer aux besoins réels en SST.

Les auteurs tiennent également à remercier Mohamed Ameer Arfaoui, Léa Bisson, Kevin Cloutier et Stevan Roué du Groupe CTT, ainsi que François Ouellet de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) pour leur participation aux travaux réalisés dans le cadre de cette étude.

SOMMAIRE

Les textiles intelligents sont des structures capables de détecter, de réagir et de s'adapter à un grand nombre de stimuli : électriques, magnétiques, thermiques, optiques, acoustiques, mécaniques, chimiques, etc. Ils offrent potentiellement des perspectives très intéressantes dans le domaine de la santé et de la sécurité au travail, par exemple, pour des systèmes de localisation intégrés, le suivi des conditions physiologiques des travailleurs, des systèmes chauffants et refroidissants intégrés, des dispositifs de communication, la captation d'énergie, etc. Cette étude avait pour objectif de réaliser une synthèse des connaissances tirées de la littérature technique et scientifique et d'identifier les technologies, solutions et produits sur le marché des textiles intelligents qui peuvent avoir des applications en santé et en sécurité au travail (SST), afin de mettre en évidence des pistes de recherche et de développement dans ce domaine.

Une première étape consistait à réaliser une analyse de la littérature scientifique et technique, à consulter les ressources en ligne et à établir des contacts avec des manufacturiers de textiles. Ainsi, plus de 500 références à des technologies, solutions et produits pertinents aux textiles et matériaux souples intelligents ont été recensées. Parmi celles-ci figurent plus de 60 entreprises canadiennes impliquées dans différents aspects des textiles intelligents. Trois grandes catégories de technologies, de solutions et de produits ont été distinguées :

- Les capteurs, dont le signal d'entrée constitue la caractéristique d'intérêt. Il s'agit, par exemple, de capteurs textiles de température, de gaz, de déformation ou de positionnement, ou d'électrodes intégrées dans les textiles;
- Les indicateurs/actuateurs, dont le signal de sortie constitue la caractéristique d'intérêt. Il s'agit, par exemple, de fibres chauffantes, de tissus antibactériens, d'écrans textiles, de tissus piézomorphiques, de surfaces autonettoyantes, d'un défibrillateur automatique et intégré dans le vêtement, et de fibres photovoltaïques;
- Les matériaux et composants : polymères, carbone, métaux, encres, connecteurs, antennes, etc., qui sont utilisés pour produire le textile intelligent.

La seconde étape de l'étude a consisté à inventorier les besoins en SST causés par les limites des textiles traditionnels, dont les propriétés sont fixes dans le temps et ne peuvent s'ajuster aux conditions rencontrées. Ces informations ont été obtenues auprès de personnes-ressources en SST, telles que des conseillers en prévention dans des associations sectorielles paritaires ou professionnelles, des représentants d'entreprises manufacturières et utilisatrices d'équipements de protection, et des chercheurs en SST. Les besoins mis en évidence incluent, par exemple, des systèmes de thermorégulation pour les vêtements hautement protecteurs utilisés dans des environnements extrêmes ou lors d'activités intenses, des capteurs chimiques intégrés dans les sarraus pour détecter et quantifier les cas d'exposition, des capteurs de signes vitaux avec géolocalisation intégrés dans les vêtements pour les travailleurs isolés et en espace clos, et des gants de protection dont le niveau de protection et la dextérité sont ajustables en fonction de la tâche.

Dans une troisième étape, les problématiques actuelles ou anticipées liées à l'usage de textiles intelligents en SST ont été déterminées. Celles-ci incluent le manque de maturité des technologies, les effets négatifs potentiels sur la santé et la sécurité, les problèmes potentiels

d'interférence ou d'incompatibilité, le manque de connaissances, de normes et de méthodes d'essai, de difficultés d'accessibilité, les problèmes liés à l'utilisation et à l'entretien de ces textiles, l'absence de validation de l'intérêt envers le dispositif et la gestion appropriée des déchets et de la fin de vie.

Un recoupement des différentes informations compilées a permis de déterminer des pistes de développement à court, moyen et long termes pour un grand nombre des problématiques soulevées. Par exemple, une réponse à court terme pour le besoin d'une meilleure thermorégulation des vêtements peut être fondée sur l'utilisation de produits commerciaux dans le domaine des sports pour alerter le travailleur quand ses signes vitaux indiquent un état de stress thermique. À moyen terme, des technologies existantes comme les matériaux à changement de phase pourraient être intégrées sous forme d'éléments amovibles dans les vêtements. Ultimement, la solution développée serait complètement intégrée dans les textiles, les fils ou les fibres; elle permettrait une régulation thermique de longue durée et offrirait une bonne résistance aux conditions de travail en environnement extrême (ex., protection incendie), à l'usure et au lavage.

L'analyse réalisée dans le contexte de cette étude montre que les textiles et les matériaux souples intelligents constituent une réponse prometteuse à de nombreuses problématiques associées aux vêtements et aux équipements de protection utilisés en SST. De plus, les capacités manufacturières et de recherche dans le domaine des textiles intelligents requises pour la réalisation des travaux proposés existent autant au Québec qu'au Canada.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	I
SOMMAIRE	III
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES.....	IX
LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XI
1. INTRODUCTION	1
2. OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	3
3. MÉTHODOLOGIE.....	5
3.1 Collecte de données et synthèse des connaissances sur les textiles intelligents	5
3.2 Recensement des problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels	6
3.3 Recensement des problématiques en SST liées à l'usage des textiles intelligents ..	8
4. RÉSULTATS.....	11
4.1 Synthèse des connaissances sur les textiles intelligents.....	11
4.1.1 Capteurs.....	11
4.1.2 Indicateurs/actuateurs	21
4.1.3 Matériaux	32
4.2 Recensement des problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels	36
4.2.1 Capteurs.....	37
4.2.2 Indicateurs/actuateurs	39
4.2.3 Autres.....	45
4.3 Recensement des problématiques en SST liées à l'usage des textiles intelligents.....	46
4.3.1 Manque de maturité des technologies	46
4.3.2 Effets négatifs potentiels sur la santé et la sécurité	47
4.3.3 Problèmes potentiels d'interférence ou d'incompatibilité.....	47
4.3.4 Manque de connaissances, de normes et de méthodes d'essai	48
4.3.5 Difficultés d'accessibilité	48
4.3.6 Difficultés liées à l'utilisation et à l'entretien	48
4.3.7 Intérêt du dispositif	49

4.3.8	Gestion des déchets et de la fin de vie	49
4.4	Recoupement des informations recueillies.....	50
4.4.1	Recoupement entre les problématiques en SST liées aux textiles traditionnels et les solutions proposées	50
4.4.2	Proposition de pistes de recherche et de développement sur les textiles intelligents pour application en SST.....	55
5.	DISCUSSION	61
5.1	Capacités de recherche sur les textiles intelligents	61
5.2	Capacités manufacturières de textiles intelligents au Québec et au Canada	62
5.3	Faisabilité du programme de recherche et développement proposé	63
6.	CONCLUSION.....	65
	BIBLIOGRAPHIE	69
	ANNEXE A : DOCUMENT PRÉPARATOIRE EXPÉDIÉ AUX PARTICIPANTS AUX RENCONTRES DE GROUPES	93
	ANNEXE B : ENTREPRISES CANADIENNES ACTIVES DANS LE DOMAINE DES TEXTILES INTELLIGENTS.....	95

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Répartition des références recensées selon les sous-catégories de la catégorie « Capteurs »	11
Tableau 2 – Répartition des références recensées selon les sous-catégories de la catégorie « Indicateurs/actuateurs »	22
Tableau 3 – Répartition des problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels selon les sous-catégories de la catégorie « Capteurs »	37
Tableau 4 – Répartition des problématiques selon les sous-catégories de la catégorie « Indicateurs/actuateurs »	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Principe des membranes adaptatives fibreuses à base de polymères à gonflement variable.	1
Figure 2 – Tee-shirt intégrant des capteurs de température.....	12
Figure 3 – Brassière et tee-shirt de sport qui captent la respiration.....	15
Figure 4 – T-shirt collectant des données sur les battements du cœur et la respiration.	18
Figure 5 – Ceinture de sécurité avec informations en temps réel.....	19
Figure 6 – Bottes à semelles chauffantes.	23
Figure 7 – Bas de compression intelligent.....	28

LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ASTM International : anciennement l'American Society for Testing and Materials

AATCC : American Association of Textile Chemists and Colorists

CNRC : Conseil national de recherches du Canada

ÉPI : Équipement de protection individuelle

ISO : International Organization for Standardization

SST : Santé et sécurité au travail

TRL : Niveau de maturité technologique (*technology readiness level*)

1. INTRODUCTION

Si l'introduction de l'électricité dans la conception des vêtements et d'accessoires lumineux et animés remonte à la fin du 19^e siècle (Marvin, 1990), le développement des textiles intelligents a réellement commencé au milieu des années 80 avec l'invention des ordinateurs portables (Post *et al.*, 2000) et des machines permettant d'incorporer des fibres optiques dans les textiles (Schwar et Wainwright, 1998). Les textiles intelligents sont des structures capables de détecter, de réagir et de s'adapter à un grand nombre de stimuli (Tao, 2001) : électriques, magnétiques, thermiques, optiques, acoustiques, mécaniques, chimiques, etc. Un exemple d'une des premières utilisations des textiles intelligents en protection remonte à 1968 alors que le Musée d'art contemporain de New York exposait une combinaison spatiale qui pouvait se gonfler/se dégonfler, s'allumer et se chauffer/se refroidir par elle-même (Smith, 1968). Les premières applications commerciales des textiles intelligents sont apparues dans les années 2000, en particulier pour le suivi des signes vitaux (Lymberis et Paradiso, 2008).

On distingue généralement trois générations de textiles intelligents (Begrache et Lachapelle, 2010). La première génération, dont de nombreux exemples sont déjà sur le marché, est constituée de systèmes dont les fonctionnalités actives sont ajoutées lors de l'étape finale d'assemblage du produit. Dans la deuxième génération, les composants intelligents sont intégrés lors de la production du textile lui-même. Quant aux textiles intelligents de troisième génération, ils porteront les éléments actifs au cœur de leurs fibres et de leurs fils : ceux-ci seront intégrés à l'étape d'extrusion ou de filature. Les chercheurs travaillent actuellement à développer cette troisième génération qui ne sera probablement pas sur le marché avant une décennie.

Des exemples de dispositifs textiles intelligents incluent, par exemple, des éléments conducteurs intégrés au textile pour l'alimentation électrique, la transmission des données ou la détection d'un endommagement mécanique, et des capteurs textiles de déformation, de température, d'humidité et de signal électrique permettant, par exemple, le suivi du rythme cardiaque et de la respiration (Decaens et Vermeersch, 2016). Sur le plan des matériaux souples intelligents, il est possible d'avoir des membranes barrières adaptatives, capables de modifier leur perméabilité en fonction des conditions (figure 1), des membranes autodécontaminantes qui neutralisent les espèces chimiques ou biologiques toxiques, des matériaux à changement de phase qui permettent une régulation de la température, et les absorbeurs de choc par épaissement au cisaillement, qui restent fluides lorsqu'ils sont déformés à vitesse normale et se solidifient instantanément sous l'effet d'un impact (Dolez et Mlynarek, 2016).

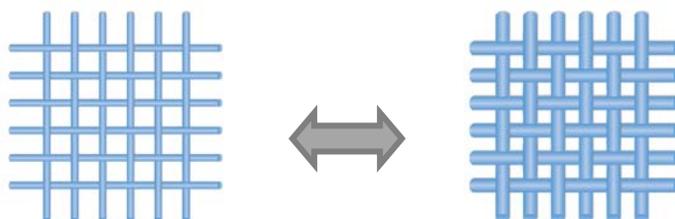


Figure 1 – Principe des membranes adaptatives fibreuses à base de polymères à gonflement variable.

Les matériaux utilisés pour la fabrication des textiles et des matériaux souples intelligents incluent, entre autres (Tao, 2001; Koncar, 2016) : des polymères conducteurs (ex. : polyaniline, polypyrrole), des métaux et dépôts métalliques (ex. : argent, acier), des encres conductrices (ex. : argent, cuivre), des nanomatériaux (ex. : nanotubes de carbone, nanoargiles), des polymères électro-actifs (ex. : poly (fluorure de vinylidène), gels polyélectrolytiques), des matériaux à changement de phase (ex. : polyéthylène glycol, sels inorganiques hydratés), des matériaux thermoactifs (ex., céramiques activées dans l'infrarouge lointain), des polymères à mémoire de forme (ex. : copolymères de polyacrylates, polyuréthanes segmentés), des hydrogels réactifs (ex., réseaux polymériques interpénétrés (IPN) d'alcool polyvinylique et d'acide polyacrylique), des membranes polymériques permselectives (ex. : membrane poreuse greffée par de l'acide acétique, membrane à fibres creuses en polyimide), des conducteurs optiques (ex. : réseaux de fibres de Bragg, fibres optiques), des matériaux photochromiques (ex. : fluorescents, phosphorescents, réfléchissants), des biopolymères (ex. : chitosan, polyester biodégradable), des matériaux photovoltaïques (ex., silicium amorphe), des semi-conducteurs organiques (ex., dérivés du polythiophène) et inorganiques (ex., silicium amorphe), des substances antibactériennes (ex. : ions argents, N-halamines), des fluides épaississant par cisaillement (ex. : silicone boraté, particules de silice colloïdales dans le polyéthylène glycol). Les méthodes de fabrication utilisent les différentes technologies textiles : tissage, tricot, broderie, etc., ainsi que d'autres telles que les microcapsules, les composites, les dépôts de surface, l'intégration de dispositifs électroniques et photoniques, etc. En effet, des matériaux et des techniques différentes sont souvent combinés pour produire des structures multifonctionnelles.

Les textiles intelligents recèlent donc un très large potentiel pour le domaine de la santé et de la sécurité au travail (SST). Ils peuvent, par exemple, être utilisés pour des systèmes de localisation intégrés, le suivi des conditions physiologiques, des matériaux barrières adaptatifs, des systèmes chauffants et refroidissants intégrés, des dispositifs de communication, la captation d'énergie, etc. Dans les faits, le domaine des vêtements militaires et de protection a été le plus grand secteur de croissance pour les textiles intelligents entre 2010 et 2014 (Dalsgaard et Sterrett, 2014) : il représentait 27 % des parts de marché des textiles intelligents en 2012. Il est prévu qu'il reste le plus important au moins jusqu'en 2020, date à laquelle le marché global des textiles intelligents devrait dépasser 1,5 milliard de dollars américains.

Cependant, même avec l'intérêt suscité ces dernières années par les textiles intelligents, en particulier dans le domaine des vêtements militaires et de protection, et les succès de certaines entreprises québécoises dans ce domaine, avec, par exemple, le vêtement Hexoskin™ de Carré Technologies et le tee-shirt et la brassière d'OMsignal, qui mesurent en continu l'activité cardiaque et d'autres paramètres physiologiques, et les semelles chauffantes de Soleno Textile, les applications commerciales des textiles intelligents en SST restent pour l'instant relativement marginales et leur percée au Québec anecdotique. Aucune compilation des produits à base de textiles intelligents offerts sur le marché n'est disponible non plus pour permettre de guider la démarche pour une meilleure mise à profit dans le domaine de la SST.

2. OBJECTIFS DE RECHERCHE

L'objectif général de l'étude est de réaliser une synthèse des connaissances sur les textiles intelligents dans la littérature technique et scientifique, et de recenser les technologies, solutions et produits dans ce marché émergent qui peuvent avoir des applications en SST, afin de mettre en évidence des pistes de recherche et de développement dans ce domaine. Il s'agit ultimement de développer des outils permettant de mieux tirer profit des textiles intelligents pour améliorer la santé et la sécurité des travailleurs du Québec.

À cet effet, quatre objectifs spécifiques ont été retenus :

- Réaliser une synthèse des connaissances sur les textiles intelligents dans la littérature technique et scientifique;
- Recenser les problématiques en SST liées à l'usage de textiles traditionnels;
- Déterminer les problématiques existantes ou potentielles en SST liées à l'usage des textiles intelligents;
- Identifier des pistes de recherche et de développement sur les textiles intelligents pour une application en SST.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 Collecte de données et synthèse des connaissances sur les textiles intelligents

La synthèse des connaissances sur les textiles intelligents et l'identification de technologies, de solutions et de produits à base de ces structures ont été réalisées à partir d'articles scientifiques et techniques, de brevets et de fiches techniques disponibles sur internet. Elle a couvert les 15 dernières années, soit depuis 2000. En particulier, les bases de données (ScienceDirect, Ei Compendex, Inspec et Web of Science) ont permis d'avoir accès aux journaux scientifiques et techniques qui traitent de la question des textiles intelligents (*Textile Research Journal, Journal of Textile Science & Engineering, Journal of Industrial Textiles, Journal of Fashion Technology & Textile Engineering, Fashion and Textiles, Indian Journal of Fibre and Textile Research, International Journal of Clothing Science and Technology, The Indian Textile Journal, etc.*) et aux comptes rendus des conférences sur les textiles intelligents (Smart Fabrics and Wearable Technology Conference, Smart Fabrics Summit, WEAR Conference, Wear It Smart Conference, etc.). Les bulletins de nouveautés sur les textiles (ex. *Smart textiles and nanotechnology*) et les offices de brevet (Office de la propriété intellectuelle du Canada (OPIC), United States Patent and Trademark Office (USPTO), European Patent Office (EPO), etc.) ont également été consultés. De plus, des recherches sur internet ont aussi été réalisées à partir des sites web des manufacturiers et des distributeurs pour identifier des produits incorporant des textiles intelligents.

Une série de mots-clés ont été utilisés pour réaliser cette recherche d'information. Ces mots-clés sont :

- *Intelligent textile*
- *Interactive wear*
- *Smart textile*
- *Smart garment*
- *Smart clothing*
- *Smart fabric*
- *Multifunctional textile*
- *Electronic textile*
- *E-textile*
- *Electrically active textile*
- *IEEE textile*
- *Conductive textile*
- *Wearable electronics*
- *Monitoring textile*

Pour chaque technologie, solution ou produit pertinent, les informations suivantes ont été obtenues et compilées dans un tableur Excel :

- Nom commercial et mention utilisés par les auteurs;
- Descriptif sommaire;
- Référence complète de la source d'information;
- Nature du stimulus (électrique, magnétique, thermique, optique, acoustique, mécanique, chimique, biologique, etc.);
- Type (dispositif ou matériau);
- Niveau de maturité technologique (*technology readiness level*; TRL);
- Applications proposées/existantes si l'information est disponible;
- Limites (ex. : plage de température, résistance au lavage).

Un code a été attribué à chaque référence pour faciliter l'analyse ultérieure et le recoupement avec les problématiques en SST liées à l'usage de textiles traditionnels.

De plus, une compilation non exhaustive de manufacturiers dans le domaine des textiles intelligents a été réalisée à partir du guide des compagnies canadiennes dans le domaine des textiles intelligents et « wearables » préparé par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC, 2016) et de l'Outil de référence sur l'expertise canadienne en vêtement intelligent développé par Vestechpro (Vestechpro, 2016). Cette liste et les informations disponibles ont été complétées en communiquant par courriel et par téléphone avec les partenaires industriels du Groupe CTT pouvant posséder des informations, utiliser des technologies, proposer des solutions ou fabriquer des produits associés aux textiles intelligents, et par consultation des sites web des entreprises. Les informations suivantes ont été compilées dans un tableur Excel pour les 184 entreprises identifiées :

- Compagnie
- Catégorie (P : vêtement et produit textile; A : accessoire; C : composant; L : logiciel)
- Site web
- Description

Un code a également été attribué à chaque entreprise pour faciliter l'analyse ultérieure et le recoupement avec les problématiques en SST liées à l'usage de textiles traditionnels.

3.2 Recensement des problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels

Plusieurs personnes-ressources ont été contactées afin d'identifier les problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels :

- Des conseillers en prévention des associations sectorielles paritaires et professionnelles dans les secteurs des pâtes et papier, des fonderies, de la pêche, de la transformation alimentaire et de l'agriculture;

- Des chercheurs en santé et en sécurité au travail;
- Des représentants des ventes chez des manufacturiers d'équipements de protection individuelle utilisés en SST;
- Des responsables du développement de produits chez des manufacturiers de textiles de protection;
- Des responsables des achats pour des organisations utilisatrices d'équipements de protection.

Dans le cas des conseillers en prévention, deux rencontres de groupe ont été organisées à l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), en novembre 2016, pour la collecte d'informations sur les problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels. Deux membres de l'équipe de recherche ont participé à chacune de ces rencontres. Une liste de questions destinées à guider la discussion lors de ces rencontres avait été préalablement acheminée aux participants :

- Pouvez-vous décrire des problèmes de SST liés à l'usage de textiles et de matériaux souples traditionnels?
- Quels sont les domaines d'activité?
- Quels types de travailleurs œuvrent dans ce secteur?
- Quel est le nombre de travailleurs?
- Quelle est la solution actuelle mise en place?
- Est-ce qu'il y a d'autres contraintes (liées, par exemple, au coût, à l'environnement de travail (température élevée, risque de choc électrique, etc.)?)

Le document préparatoire contenait également une courte introduction sur les textiles et les matériaux souples traditionnels (annexe A). Pour certains conseillers qui n'étaient pas libres lors des deux rencontres, l'obtention des informations sur les problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels s'est faite par le biais d'une discussion téléphonique avec un membre de l'équipe de recherche.

Dans le cas des chercheurs en SST, après une prise de contact par courriel, une discussion par téléphone avec un membre de l'équipe de recherche a eu lieu pour l'obtention des informations sur les problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels. Les domaines couverts par ces chercheurs incluent :

- Les vêtements de protection contre les risques physiques et mécaniques;
- Les vêtements et équipements de protection contre les risques chimiques;
- Les équipements de protection contre les chutes de hauteur;
- Les vêtements et équipements de protection contre les vibrations;
- Les équipements de protection contre le bruit;
- La prévention de la surdité professionnelle et des risques mécaniques et physiques;
- La réadaptation au travail;
- L'environnement de travail en SST.

Le document préparatoire et la courte introduction sur les textiles et les matériaux souples traditionnels ainsi que la liste de questions destinées à guider la discussion avaient également été expédiés aux chercheurs avant la rencontre téléphonique.

Finalement, dans le cas des représentants des ventes chez des manufacturiers d'équipements de protection individuelle (ÉPI) utilisés en SST, des responsables du développement de produits chez des manufacturiers de textiles de protection et des responsables des achats d'organisations utilisatrices d'ÉPI, un courriel personnalisé a été acheminé avec le document préparatoire pour solliciter une discussion téléphonique avec un membre de l'équipe de recherche pour l'obtention des informations sur les problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels. Une version en anglais du document préparatoire a été préparée et était expédiée lorsque nécessaire.

Dans certains cas, la discussion téléphonique a effectivement eu lieu. Dans d'autres cas, une rencontre en personne a été tenue. Finalement, d'autres encore ont préféré faire parvenir par courriel les réponses aux questions du document préparatoire.

Pour chaque problématique identifiée par une de ces personnes-ressources, les informations suivantes ont été obtenues et compilées dans un tableur Excel :

- Coordonnées de la personne/type d'activité/ancienneté en SST ou référence complète de la source d'information;
- Description de la problématique;
- Domaine d'activité;
- Type de travailleurs;
- Nombre de travailleurs;
- Solution actuelle mise en place;
- Autres contraintes (coût, environnement de travail, etc.).

Un code a également été attribué à chaque problématique pour faciliter l'analyse ultérieure et le recoupement avec les technologies, solutions et produits pertinents identifiés à l'étape précédente de l'étude.

3.3 Recensement des problématiques en SST liées à l'usage des textiles intelligents

Pour ce dernier aspect de la collecte d'informations, une série de questions spécifiques a été formulée pour animer les rencontres et discussions sur les problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels. Des conseillers en prévention d'associations sectorielles paritaires et professionnelles, des chercheurs en santé et en sécurité au travail, des représentants des ventes chez des manufacturiers d'équipements de protection individuelle utilisés en SST, des responsables du développement de produits chez des manufacturiers de textiles de protection et des responsables des achats pour des organisations utilisatrices d'équipements de protection y participaient. Les questions posées étaient :

- Utilisez-vous ou avez-vous été en contact avec des produits utilisés en SST qui contiennent des textiles et matériaux souples intelligents?

- Si oui,
 - Quels sont ces produits?
 - Nom commercial et manufacturier;
 - Petit descriptif;
 - Nature du stimulus (électrique, chimique, mécanique, thermique, optique, magnétique, acoustique, etc.).
 - Dans quelles circonstances/conditions/domaine d'activité ont-ils été utilisés?
 - Est-ce que des problèmes liés à leur utilisation ont été notés?
- Si non,
 - Avez-vous connaissance de produits semblables qui peuvent répondre à des problématiques dans votre domaine?

Cette liste de questions était également acheminée aux participants, préalablement aux rencontres et discussions; elle était accompagnée d'une courte introduction sur les textiles intelligents (annexe A).

Par ailleurs, des chercheurs spécialistes de la défense nationale ont été contactés afin de savoir si des problèmes avec des textiles intelligents utilisés en protection avaient été répertoriés. Deux échanges téléphoniques ont eu lieu avec des personnes-ressources de divers services de l'agence Recherche et développement pour la défense Canada.

Pour chaque problématique identifiée par une de ces personnes-ressources, les informations suivantes ont été obtenues et compilées dans un tableur Excel :

- Coordonnées de la personne/type d'activité/ancienneté en SST ou référence complète de la source d'information;
- Produit concerné par la problématique;
- Domaine d'activité;
- Circonstances/conditions d'utilisation;
- Description de la problématique;
- Solution actuelle mise en place.

Un code a également été attribué à chaque problématique pour faciliter l'analyse ultérieure et le recoupement avec les technologies, solutions et produits pertinents identifiés à l'étape précédente de l'étude.

Finalement, une séance de remue-méninges avec les membres de l'équipe de recherche a été organisée afin de compléter la liste des problèmes potentiels liés à un usage des textiles et matériaux souples intelligents en SST. Ces réflexions étaient nourries avec les résultats des recherches dans la littérature scientifique et technique effectuées par les membres de l'équipe.

4. RÉSULTATS

4.1 Synthèse des connaissances sur les textiles intelligents

Près de 500 références à des technologies, solutions et produits pertinents aux textiles et aux matériaux souples intelligents ont été identifiées dans la littérature scientifique et technique, dans les bases de données de brevets, dans les bulletins d'information, dans les inventaires d'entreprises actives dans le domaine, et dans les sites web des manufacturiers. Il est à noter qu'il existe un nombre beaucoup plus élevé de références dans ce domaine. Cependant, plusieurs sont similaires en termes de domaines d'applications, de solutions ou de conception. Par conséquent, pour des articles traitant de produits ou d'applications similaires, seules les références les plus récentes, qui présentaient la version la plus mature de la technologie ciblée, ont été retenues. Elles peuvent être regroupées en trois grandes catégories :

- les capteurs;
- les indicateurs et actuateurs;
- les matériaux.

4.1.1 Capteurs

Sous la catégorie « Capteurs » ont été regroupés les technologies, solutions et produits dont le signal d'entrée constitue la caractéristique d'intérêt. Ils représentent la moitié des références. Ces technologies, solutions et produits de type capteur ont ensuite été répartis selon le type de stimulus auquel ils réagissent parmi les suivants : thermique, mécanique, chimique, électrique et physique.

Le Tableau 1 donne la répartition des références recensées dans la catégorie « Capteurs » selon le type de stimulus et le type de référence. Certains produits peuvent entrer dans plusieurs catégories, par exemple, un vêtement qui capte le rythme cardiaque et la respiration. Les technologies, solutions et produits répondant aux stimuli de nature mécanique sont de loin les plus fréquents, suivis de ceux de nature électrique.

Tableau 1 – Répartition des références recensées selon les sous-catégories de la catégorie « Capteurs »

	Stimulus				
	Thermique	Mécanique	Chimique	Électrique	Physique
Articles	2 %	14 %	3 %	4 %	2 %
Brevets et produits	1 %	20 %	2 %	9 %	2 %
Entreprises canadiennes	-	8 %	1 %	5 %	1 %
Entreprises étrangères	<1 %	16 %	1 %	6 %	2 %
Total	4 %	59 %	6 %	23 %	8 %

Les technologies, solutions et produits de type capteur répondant à un **stimulus thermique** incluent, par exemple :

- Un capteur textile de flux de chaleur perméable à la vapeur d'eau qui détermine la quantité de chaleur échangée entre le corps humain et son environnement en tenant compte du phénomène d'évaporation de la sueur (Onofrei, Codau, Bedek, Dupont et Cochrane, 2016);
- Des capteurs de température intégrés dans les vêtements, par exemple une veste de laine, pour le suivi médical dans les établissements de soins de santé et à la maison (Nag et Sharma, 2006);
- Des capteurs de température intégrés dans un tee-shirt pour mettre en évidence quels muscles sont sollicités lors d'un entraînement sportif (Tuxboard, 2014);
- Des capteurs de température intégrés dans les selles des chevaux pour le suivi de leurs signes physiologiques (McGreevy *et al.*, 2014);
- Un tee-shirt intégrant des électrodes textiles pour le suivi de la température dans l'environnement quotidien (www.aiqsmartclothing.com) (figure 2);
- Des étiquettes électroniques imprimées pour le suivi de la température de bouteilles d'alcool (<http://thinfilm.no>).



Figure 2 – Tee-shirt intégrant des capteurs de température.

Tirée de <http://www.aiqsmartclothing.com/>

Les technologies, solutions et produits de type capteur répondant à un **stimulus mécanique** comprennent, par exemple :

- Un capteur de pression capacitif constitué d'un film de néoprène pris en sandwich entre deux couches de tissu de nylon conducteur (Arogbonlo, Usma, Kouzani et Gibson, 2015);
- Des capteurs de pression constitués d'une membrane piézorésistive formée d'un tricot nylon/élasthane conducteur (<http://eeonyx.com>);
- Des capteurs de pression minces composés d'électrodes flexibles et d'un polymère de silicone pour des claviers tactiles (www.tacterion.com);
- Des capteurs de pression à base d'encre et de pâtes conductrices imprimés sur des textiles (<http://sensingtex.com>);

- Des capteurs de pression et de déformation produits par sérigraphie sur des substrats flexibles et des textiles pour le suivi des signes physiologiques tels que la respiration abdominale, la pression sanguine et le rythme cardiaque (Rai *et al.*, 2011);
- Des capteurs de déformation à base de polymère électroactif diélectrique (<http://parker.com/eap>);
- Des capteurs de déformation textiles à base de fil de coton/polyuréthane élastique et de nanotubes de carbone pour le suivi des mouvements (Wang *et al.*, 2016);
- Des capteurs de déformation et de pression tissables faits de fibres optiques polymériques pour le suivi de l'intégrité structurale des pièces composites à renfort textile (Seyam et Hamouda, 2013);
- Des capteurs de déformation tricotés de haute sensibilité et résistant au lavage faits d'un fil de fibres de coton et d'acier pour le suivi des signes vitaux, du mouvement et de la respiration (Xie, Long et Miao, 2016);
- Un capteur de déformation par impression à jet d'encre sur des fibres de polyester (Quintero *et al.*, 2015);
- Un capteur de déformation à haute extensibilité pour la détection des mouvements humains produit par dépôt de nanotubes de carbone monoparoï sur un fil composite à âme fait de polyuréthane recouvert d'un enroulement de fibres de coton (Wang *et al.*, 2016);
- Des capteurs de déformation textiles composés d'un mince film de nanotubes de carbone dans une matrice en latex pris en sandwich entre deux tissus pour le suivi des mouvements et de la respiration (Wang, Loh et Koo, 2016);
- Un capteur tactile capacitif produit par impression d'un composite diélectrique fait de noir de carbone et de caoutchouc sur un substrat textile (Guo, Huang, Cai, Liu et Liu, 2016);
- Un accéléromètre à base de tissu et de nanoparticules d'argent pour la mesure de l'angle d'inclinaison pelvien (Rajdi, Bakir, Saleh et Wicaksono, 2012);
- Un réseau de capteurs de pression textile de large dimension pour la reconnaissance d'activités, par exemple sur un siège ou un tapis de yoga (Cheng, Sundholm, Zhou, Hirsch et Lucowicz, 2016);
- Un réseau de capteurs textiles piézorésistifs pour le suivi de la distribution spatiale et du profil temporel de la pression lors du traitement compressif des ulcères veineux des jambes (Baldoli *et al.*, 2016);
- Un réseau de capteurs de pression textiles résistifs pour la mesure de l'activité musculaire pendant l'entraînement sportif (Zhou, Sundholm, Cheng, Cruz et Lukowicz, 2016);
- Un système de capteurs textiles multimodal pour une interaction sans contact visuel avec des appareils mobiles (Yoon, Huo et Ramani, 2016);
- Un capteur portable qui transforme les mouvements en musique (www.sonicwear.ca);
- Un système portable pour les nageurs de compétition qui mesure et transmet les informations sur leurs performances à leurs entraîneurs (www.tritonwear.com);
- L'intégration d'un capteur de déformation sous forme de film flexible en silicium dans des textiles (Katragadda et Xu, 2008);

- Un interrupteur mécanique produit par sérigraphie sur un film de mousse de polyuréthane (Tolvanen, Hannu, Palosaari, Nelo et Jantunen, 2016);
- Un textile sensible à la pression produit à l'aide d'encres conductrices (<http://sensingtex.com>);
- Un textile non tissé conducteur pour les sièges des moyens de transport servant à détecter si le siège est occupé (Belt-Tech, 2017);
- Divers capteurs, incluant un altimètre et un accéléromètre, intégrés dans un tee-shirt (www.cityzensciences.com);
- Un tee-shirt intégrant des électrodes brodées pour le suivi des signes vitaux (Trindade, Martins, Dias, Oliveira et Machado da Silva, 2015);
- Une ceinture textile permettant le suivi de la respiration en temps réel (Sadikovic, 2015);
- Des vêtements et accessoires non textiles qui surveillent les signes vitaux des athlètes, des militaires et des premiers répondants (www.zephyranywhere.com);
- Des vêtements de sport qui enregistrent l'intensité et l'efficacité de l'activité physique (www.myontec.com);
- Un couvre-siège et une ceinture de sécurité munis de capteurs qui mesurent les signes vitaux du conducteur en continu et déclenchent une alarme en cas de signe d'endormissement (<http://harken.ibv.org>);
- Un vêtement muni de capteurs pour le suivi de la posture après un accident ou dans le cas d'une maladie dégénérative (Wang *et al.*, 2015);
- Des chaussettes équipées de capteurs de pression textiles pour le suivi de la stabilité posturale lors des activités quotidiennes (D'Addio *et al.*, 2016);
- Un vêtement intégrant des capteurs de mouvement et d'angles des articulations pour prévenir les blessures des athlètes et des travailleurs (www.heddoko.com);
- Une brassière de sport qui capte la respiration pour guider l'entraînement sportif (www.omsignal.com) (figure 3);
- Un gilet destiné à aider les personnes soulevant des objets lourds à éviter les blessures (Weigelt, 2015);
- Une manche de compression fournissant des données sur les signes vitaux pendant les activités quotidiennes et sportives (<http://komodotec.com>);
- Un tee-shirt qui enregistre les paramètres de la respiration et l'intensité des activités quotidiennes (www.carretechnologies.com);
- Une semelle munie de capteurs qui enregistre la posture, l'activité quotidienne et les charges portées (<http://meledii.com>);
- Un vêtement qui informe les parents sur l'intensité des mouvements de leurs enfants (www.reima.com/int);
- Une casquette qui mesure les paramètres du mouvement de l'utilisateur (vitesse, distance) et les projette dans son champ de vision (www.o-synce.com);

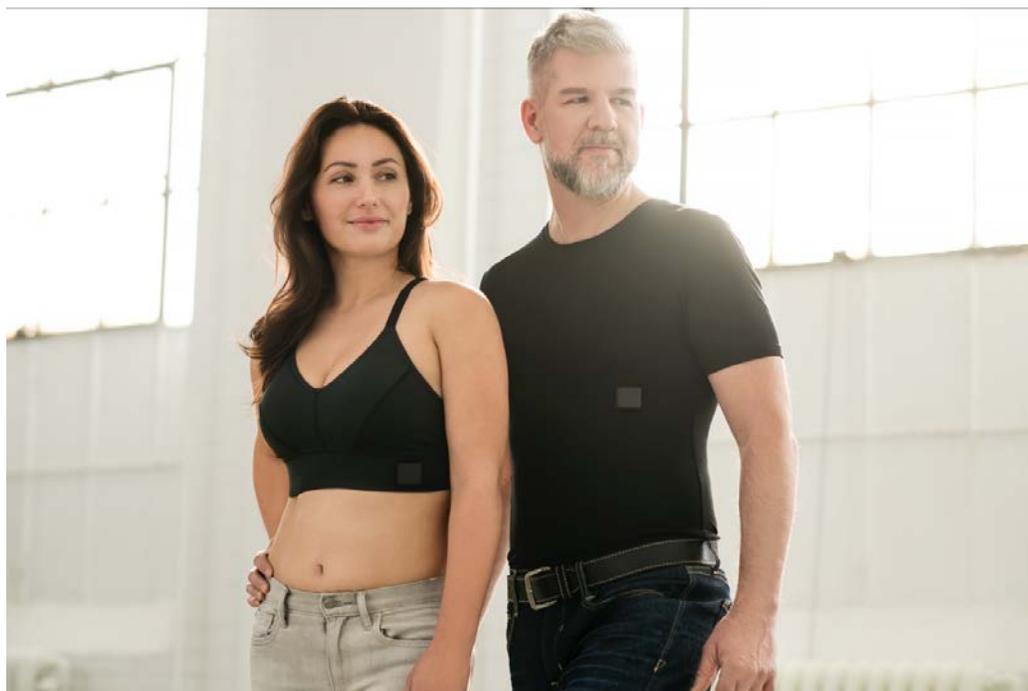


Figure 3 – Brassière et tee-shirt de sport qui captent la respiration.

Tirée de <https://omsignal.com/>

- Un système de détection des signes avant-coureurs de chutes chez les personnes âgées (<http://ngtronix.ca>);
- Un corset de redressement muni de capteurs textiles pour des gens atteints de scoliose (www.ohmatex.dk);
- Une couverture pour la cartographie de la pression (www.xsensor.com);
- Des accessoires non textiles qui détectent la fréquence de repositionnement des patients alités pour prévenir les escarres (www.engagebiomechanics.com);
- Un tapis de lit pour la visualisation des points de pression afin de prévenir les escarres (<http://themapssystem.com>);
- Un capteur textile qui mesure la pression exercée par les bas de contention (www.ohmatex.dk);
- Une semelle qui détecte le manque de circulation sanguine dans les membres inférieurs (<https://orpyx.com>);
- Une semelle munie de capteurs de pression permettant de contrôler les opérations d'une machine (Raynal, 2016);
- Un clavier d'ordinateur textile (Paine, 2006);
- Un gant qui permet à l'utilisateur de contrôler des jeux sur ordinateur et diverses applications (<http://theperegrine.com>);
- Des semelles munies de capteurs qui mesurent la cadence et la longueur des pas ainsi que le temps passé sur les talons (www.realrunnerreviews.com);

- Des semelles permettant d'enregistrer en continu les données dynamiques du mouvement pour améliorer l'efficacité des sportifs et prédire le degré de fatigue des travailleurs en industrie (Linneweber, 2015);
- Des leggings qui déterminent les paramètres dimensionnels du corps pour identifier la taille et le modèle de jeans qui conviennent le mieux (<http://likeaglove.me>);
- Une combinaison de surveillance musculaire pour les astronautes (www.ohmatex.dk);
- Un gant muni de capteurs de force pour la collecte de données-terrains en milieu de travail (www.cyberglovesystems.com);
- Un casque de protection pour les militaires avec capteurs d'impact et système de détermination de l'effet produit (www.baesystems.com);
- Un capuchon à enfiler sous un casque qui détecte les impacts et avertit à l'aide d'une lumière en cas de choc dangereux (www.reebok.ca);
- Des capteurs intégrés dans un gilet pare-balle pour contrôler son intégrité structurelle (www.tencate.com).

Les technologies, solutions et produits de type capteur répondant à un **stimulus chimique** incluent, par exemple :

- Un capteur électrochimique enzymatique textile pour la détection dans les fluides biologiques de concentrations anormales en acides aminés indicatrices de pathologies humaines (Battista *et al.*, 2017);
- Des capteurs de gaz textiles flexibles et lavables formés de bisulfite de molybdène et d'oxyde de graphène réduit immobilisés par autoassemblage électrostatique sur des fils de coton (Yun *et al.*, 2016);
- Des détecteurs de composés organiques volatils faits d'un voile de nanofibres et de particules conductrices ou carbonées (Han, 2012);
- Des capteurs chimiques à fibre optique avec revêtement modifié, incorporés dans des textiles tissés, tricotés et non tissés (Khalil, Yuan et El-Sherif, 2004);
- Un nez électronique formé de capteurs de gaz sur un substrat flexible pour intégration dans un textile (Kinkeldei, Zysset, Münzenrieder et Tröster, 2012);
- Un fil textile biocapteur pour le suivi de pathologies médicales (Karamchandani, Mustafa, Merchant et Desai, 2011);
- Un textile halochromique capteur de pH (Sun, Brandford-White, Yu et Zhu, 2015);
- Un textile conducteur à base de nanotiges d'oxyde de zinc pour la détection des gaz à température ambiante (Lim, Chia, Kevin, Wong et Ho, 2010);
- Des tissus avec un dépôt d'oxyde de graphène qui permettent de détecter la présence de gaz dangereux dans l'atmosphère environnante (Lee, 2015);
- Un textile contenant une combinaison de teintures absorbantes et inertes pour la détection d'un changement anormal du pH du milieu en contact (Mohr et Müller, 2015);
- Un système textile optoélectronique de mesure du pH (Caldara, Colleoni, Guido, Re et Rosace, 2012);
- Des emballages et des étiquettes qui détectent, sur la base du niveau de CO₂, quand les aliments ne sont plus assez frais et alertent en changeant de couleur (Kilshaw, 2013);

- Un foulard à base de charbon activé et de nanoparticules d'argent qui filtre et détruit les virus, les bactéries et les aérosols toxiques avant qu'ils ne soient inhalés (Scough, 2017);
- Des gants changeant de couleur lorsqu'ils entrent en contact avec des substances toxiques (Trupp, 2013);
- Un vêtement qui change de couleur dans le cas d'un niveau élevé de CO₂ dans l'air ambiant (Bowker, 2014);
- Un bracelet qui suit en continu le nombre de calories consommées par la mesure des nutriments dans le sang (www.getairo.com);
- Un bracelet qui surveille la concentration en glucose et en électrolytes dans le sang (www.biomindr.com).

Les technologies, solutions et produits de type capteur répondant à un **stimulus électrique** comprennent, par exemple :

- Des capteurs textiles obtenus par sérigraphie à l'aide d'encre conductrices pour des mesures d'électrocardiogrammes (Rai *et al.*, 2011);
- Des capteurs textiles pour la mesure en continu d'électrocardiogrammes, produits par dépôt de polymère conducteur sur un tissu de polyester (Trindade, Martins et Baptista, 2015);
- Des capteurs textiles permettant l'obtention de données médicales de bonne qualité destinés au suivi médical, aux soins préventifs, à la physiologie des exercices physiques et aux régimes amaigrissants (Textronics, 2017a);
- Des capteurs textiles pouvant être intégrés dans les sous-couches des vêtements des premiers répondants et du personnel d'urgence pour qu'ils puissent visualiser et faire le suivi de leurs propres signes vitaux (Textronics, 2017b);
- Des électrodes textiles tricotées recouvertes de polymère conducteur pour application en électrophysiologie transcutanée (Papaiordanidou *et al.*, 2016);
- Des électrodes textiles sèches produites par tricot de fils conducteurs pour la mesure de l'activité musculaire par électromyographie de surface (Paiva, Carvalho, Catarino, Postolache et Postolache, 2015);
- Un réseau d'électrodes passives intégrées dans un bandeau textile pour des traitements d'électromyographie faciale et d'électro-oculographie (Paul *et al.*, 2013);
- Un système de suivi des signes vitaux fœtaux muni d'électrodes textiles (Amir, Malafriev et Katz, 2014);
- Un système textile de détection des signes avant-coureurs du syndrome de mort subite du nourrisson, incluant le rythme cardiaque (Ferreira *et al.*, 2016);
- Divers capteurs, incluant ceux utilisés pour suivre le rythme cardiaque, intégrés dans un tee-shirt (www.cityzensciences.com);
- Des capteurs textiles intégrés dans des vêtements, des draps et des taies d'oreiller pour les suivis neurologique, cardiaque et pulmonaire (Varadan, Pratyush, Kumar, Mathur et Agarwal, 2013);
- Une veste intelligente pour le suivi en continu des signes vitaux, incluant l'activité électrique du cœur (Nag et Sharma, 2006);

- Un tee-shirt pour le suivi des paramètres cardiorespiratoires à l'aide d'électrodes brodées (Trindade *et al.*, 2015);
- Un vêtement multicateurs pour le suivi des signes vitaux (www.csem.ch);
- Un vêtement équipé de plusieurs capteurs pour le suivi des signes vitaux (électrocardiogramme, etc.) (Krauss, 2011);
- Une ceinture avec des électrodes textiles et un système d'humidification pour le suivi des signes vitaux (Hagmann, 2013);
- Un tee-shirt équipé de capteurs de signes vitaux développé spécifiquement pour les pompiers (Blake, 2013);
- Des vêtements de sport intelligents qui permettent d'ajuster l'entraînement physique pour en maximiser l'efficacité (www.sensoriafitness.com);
- Un tee-shirt de sport muni de capteurs biométriques (Meiler, 2015);
- Un soutien-gorge doté d'un cardiofréquencemètre (Edwards, novembre 2014);
- Une brassière de sport munie de capteurs textiles pour l'enregistrement des signes vitaux en continu, avec un système d'accompagnement associé (Omsignal, 2017);
- Des leggings qui évaluent la condition physique, incluant cardiaque, et transmettent les données par un système sans fil (Chang, 2015);
- Un gilet et une ceinture de poitrine en soie conductrice pour l'enregistrement du rythme cardiaque de patients admis aux urgences avec des douleurs à la poitrine pendant la période d'observation préhospitalisation (Tien *et al.*, 2014);
- Un vêtement de sport collectant, entre autres, le rythme, la variabilité et la récupération cardiaques (www.hexoskin.com) (figure 4);
- Un tee-shirt pour l'enregistrement en continu pendant 72 h des ondes cardiaques et de l'électrocardiogramme du porteur en vue d'une évaluation de l'état de santé (Duncan, s.d.);



Figure 4 – T-shirt collectant des données sur les battements du cœur et la respiration.

Tirée de <https://www.hexoskin.com/>

- Un tee-shirt intégrant des capteurs textiles pour le suivi médical à domicile des personnes âgées et le déclenchement d'alertes en cas de problèmes (Frydrysiak et Tesiorowski, 2016);
- Une bande de poitrine extensible munie d'électrodes textiles pour la mesure du rythme cardiaque (Hofmann, 2013);
- Un harnais permettant le suivi des signes vitaux pour application dans les domaines médicaux et militaires (Gendelman, 2011);
- Une semelle de suivi des métriques physiologiques (www.meledii.com);
- Des capteurs de signes vitaux sans contact intégrés dans les sièges de voiture (Gameiro, 2013);
- Des capteurs de signes vitaux intégrés dans les dossiers des sièges de voitures (Leonhardt, 2011);
- Une ceinture de sécurité permettant le suivi en continu des signes vitaux, l'analyse des données et la transmission sans fil (Morese, 2016);
- Un siège de voiture équipé de capteurs textiles piézoélectriques pour l'ajustement des conditions environnementales dans l'habitacle en fonction du rythme cardiaque du conducteur (Le Friec, 2016);
- Un vêtement intelligent pour l'enregistrement des paramètres physiologiques, dont l'activité électrique du cœur et du contrôle nerveux autonome, pour l'étude du sommeil des astronautes en mission (Di Rienzo, Vaini et Lombardi, 2015);
- Un vêtement tricoté de stimulation électrique nerveuse transcutanée pour le traitement de la douleur (Li, Au, Hua et Ding, 2014);
- Un vêtement de suivi de l'activité musculaire utile pour limiter la dégénérescence musculaire chez les astronautes (Dalsgaard, 2015a);
- Un short muni de capteurs pour la mesure de l'activité électrique des muscles par électromyographie de surface (Husko, 2016);
- Une ceinture de sécurité comportant un fil conducteur qui permet de détecter si elle est bouclée (Belt-Tech, 2017) (figure 5);
- Des vêtements de travail équipés de détecteurs magnétiques pour prévenir les coupures par les scies électriques (Riedl, 2011);



Figure 5 – Ceinture de sécurité avec informations en temps réel.

Tirée de <http://www.belt-tech.com/fr/>

- Des combinaisons de travail pour les mineurs avec des capteurs de signes vitaux (www.jannatec.com);
- Une veste équipée d'un clavier flexible permettant de contrôler un téléphone (Leftly, 2013);
- Un capteur neurologique qui détecte et agit sur les ondes cérébrales (Ruth *et al.*, 2014);
- Un moniteur d'électrocardiogramme de 9 mm d'épaisseur porté comme un pansement sur la poitrine (www.clearbridgevitalsigns.com);
- Un papillon de boucle d'oreille qui mesure la fréquence cardiaque (www.shopjoule.com);
- Un bracelet qui identifie son porteur grâce à son électrocardiogramme pour utilisation en milieu de travail (<https://nyimi.com>);
- Un bracelet qui mesure les données sur le sommeil pour évaluer les niveaux de fatigue et de récupération (www.fatiguescience.com);
- Une montre de sport qui indique le niveau d'activité à exercer en fonction de la fréquence cardiaque pour rester en forme (www.mioglobal.com);
- Un bracelet qui mesure les signes vitaux, dont la fréquence cardiaque, pour améliorer les performances sportives (www.salu.ca);
- Une bande de poignet reliée au téléphone intelligent qui détecte, informe et alerte de la proximité d'une source de tension électrique élevée (www.proxxiband.co).

Les technologies, solutions et produits de type capteur répondant à un **stimulus lié à l'environnement physique** comprennent, par exemple :

- Un capteur d'humidité produit par impression à jet d'encre sur un textile (Weremczuk, Tarapata et Jachowicz, 2012);
- Un capteur de proximité flexible, produit par impression, avec applicateur (*dispenser printing*) d'encre conductrice sur un tissu de polyester (Wei, Torah, Li et Tudor, 2016);
- Un capteur de sueur pour les selles de chevaux (McGreevy *et al.*, 2014);
- Des photodétecteurs et des capteurs d'images sur substrat flexible (www.isorg.fr);
- Un système de capteurs portables sans fil pour le contrôle du mouvement des foules (Angela, Viswanathan, Lees et Cai, 2014);
- Un système de détection de la position sans fil imprimé sur un textile (Krykpayev, Farooqui, Bilal et Shamim, 2016);
- Un système textile de détection de présence (Wittkowski, 2013a);
- Un système de détection d'obstacles pour personnes malvoyantes intégré aux structures textiles (Bahadir, Koncar et Kalaoglu, 2012);
- Un système de détection de la proximité d'obstacles intégré dans les casques des mineurs (www.jannatec.com);
- Un accessoire non textile de détection d'obstacles pour personnes non voyantes, qui utilise la technologie des ultrasons et vibre en détectant un obstacle (www.imerziv.com);
- Un système de détection mince et flexible de la présence d'occupants sur les sièges des véhicules automobiles et de leur positionnement, qui désactive les coussins gonflables, au besoin, pour éviter les blessures (www.elesys-na.com);
- Un système portable de surveillance de l'incontinence urinaire (www.simavita.com);

- Un système portable de surveillance de l'usage du tabac, incluant la localisation (<https://kiwi.ai>);
- Un textile incorporant des fils conducteurs qui active une alarme en cas de rupture locale de son intégrité physique (www.fraunhofer.de);
- Un système de localisation par GPS portable (www.laipac.com);
- Une veste pour enfants incluant un système de localisation par GPS (Jutila, Rivas, Karhula et Pantsar-Syvaniemi, 2014);
- Divers capteurs, incluant un système de localisation par GPS, intégrés dans un tee-shirt (www.cityzensciences.com);
- Une veste de pompiers équipée d'un système de localisation par GPS (Siegl, 2012);
- Un tee-shirt destiné aux pompiers qui permet, entre autres, la localisation par GPS (<http://globo turnoutgear.com>);
- Un tricot intégrant des fils conducteurs qui permet de détecter des fuites dans les canalisations (Sefar, 2013);
- Des caleçons avec une protection d'incontinence jetable équipée d'un capteur d'humidité (University of Technology Sydney, 2014);
- Une ligne de vie intelligente pour les pompiers permettant de localiser les points de sortie et les victimes, par exemple (Siegl, 2012);
- Des étiquettes électroniques imprimées pour la protection contre le vol (<http://thinfilm.no>);
- Un couvre-plancher avec des capteurs capacitifs pour la détection de présence, le suivi des déplacements, l'analyse de la démarche, etc. (www.future-shape.com).

4.1.2 Indicateurs/actuateurs

Sous la catégorie « Indicateurs/actuateurs » ont été regroupés les technologies, solutions et produits dont le signal de sortie constitue la caractéristique d'intérêt. Ils représentent environ le tiers des références. Ces technologies, solutions et produits de type indicateur/actuateur ont ensuite été répartis selon le type de signal de sortie qu'ils émettent : thermique, chimique/biologique, optique, mécanique, physique, électrique, énergie et blindage. La sous-catégorie énergie couvre la génération, le transfert et le stockage d'énergie.

Le Tableau 2 donne la répartition des références recensées dans la catégorie « Indicateurs/actuateurs » selon le type de signal de sortie et le type de référence. Certains produits peuvent entrer dans plusieurs catégories, par exemple, un textile multifonctionnel combinant des propriétés antibactériennes et superhydrophiles (Mura *et al.*, 2015) ou antibactériennes et anti-UV (Berendjchi, Khajavi, Akbar Yousefi et Yazdanshenas, 2015). Les technologies, solutions et produits émettant un signal de sortie de types thermique, optique et énergie sont les plus fréquents.

Tableau 2 – Répartition des références recensées selon les sous-catégories de la catégorie « Indicateurs/actuateurs »

	Sortie							
	Thermique	Chimique/ biologique	Optique	Mécanique	Physique	Électrique	Énergie	Blindage
Articles	6 %	3 %	2 %	1 %	2 %	-	8 %	2 %
Brevets et produits	13 %	4 %	13 %	4 %	1 %	3 %	8 %	<1 %
Entreprises canadiennes	2 %	1 %	1 %	<1 %	<1 %	<1 %	2 %	-
Entreprises étrangères	7 %	1 %	6 %	3 %	-	2 %	4 %	-
Total	28 %	9 %	22 %	8 %	4 %	5 %	22 %	2 %

Les technologies, solutions et produits de type indicateur/actuateur fournissant un **signal de sortie thermique** incluent, par exemple :

- Des fibres creuses chauffantes activées par le rayonnement infrarouge proche (Altimari, 2016);
- Un fil qui absorbe le rayonnement infrarouge proche et le transforme en chaleur (Filspec, 2017);
- Des fils chauffants et conducteurs électriques produits par mélange de fibres (www.filspec.com);
- Des fibres textiles refroidissantes par réaction avec la sueur ou toute autre source d'humidité (Beringer, 2013);
- Des fils de nylon comprenant des minéraux bioactifs qui absorbent la chaleur du corps et la diffusent sous forme de rayonnement infrarouge lointain (Franco, 2012);
- Un textile chauffant recouvert d'un dépôt de nanofils d'argent (Doganay, Coskun, Genlik et Unalan, 2016);
- Des tricots chauffants produits à l'aide d'un fil recouvert d'argent (Liu *et al.*, 2015);
- Des textiles chauffants produits par couture avec des fils conducteurs composés de fibres d'acier inoxydable recouvertes de fibres de polyester (Poboroniuc, Curteza, Cretu et Macovei, 2014);
- Un textile chauffant produit par dépôt de polymères intrinsèquement conducteurs sur un tissu de polyester (Opwis, Knittel et Gutmann, 2012);
- Une encre conductrice à base de nanofils d'argent pour la production d'un textile flexible et conducteur pour la conversion photothermique (Yang, Sun et Wang, 2016);

- Un textile chauffant produit par broderie qui inclut un capteur de température pour la fabrication de vêtements thermostatés (Roh et Kim, 2015);
- Une structure textile multicouche ultra-isolante inspirée de la fourrure des ours polaires et comprenant un élément chauffant alimenté par un système flexible de captation d'énergie solaire (Stegmaier, 2013);
- Un tissu conducteur électrique pour le chauffage des sièges de voiture (Wittkowski, 2013b);
- Un système chauffant pour intégration dans un textile (www.interactive-wear.de);
- Un renfort textile électroconducteur chauffant pour le dégivrage des pièces composites en aéronautique (Falzon, Robinson, Frenz et Gilbert, 2014);
- Un textile chauffant comportant des fils qui absorbent le rayonnement infrarouge proche (Invista, 2017);
- Un textile thermorégulant obtenu à l'aide de sels hydratés à changement de phase immobilisé par du caoutchouc silicone (Kazemi et Mortazavi, 2014);
- Des textiles thermorégulants à base de matériaux à changement de phase (Outlast Technologies, 2014);
- Des films multicouches électrofilés avec matériaux à changement de phase pour l'emballage alimentaire (Chalco-Sandoval, Fabra, López-Rubio et Lagaron, 2015);
- Un textile multifonctionnel offrant une capacité thermorégulante obtenue grâce à des nanoparticules de dioxyde de vanadium (Lu, Sun, Chen et Gao, 2017);
- Un textile non tissé thermorégulant incluant des spirales à mémoire de forme en nitinol (Michalak et Krucińska, 2015);
- Des vêtements et articles textiles tricotés sans couture avec des capacités isolantes et thermorégulatrices variant localement (Rock et Sharma, 2016b);
- Un chandail en tricot chauffant comprenant des fibres argentées (Textiles for Ageing Society, 2012);
- Des vestes, pantalons, gants, chaussettes et masques chauffants avec alimentation par batterie (www.gerbing.eu/fr);
- Un textile non tissé chauffant avec des fibres d'argent (Solenotextiles, 2017) (figure 6);



Figure 6 – Bottes à semelles chauffantes.

Tirée de <https://solenotextile.com/>

- Des vêtements, chaussettes et gants avec dispositif de chauffage (www.myant.ca);
- Une veste chauffante dont le porteur contrôle la température par le biais de son téléphone intelligent (www.kinesixsports.com);
- Une couverture chauffante pour hôpitaux (Avloni, 2011a);
- Une veste refroidissante pour application militaire avec circulation d'eau froide (Med-Eng, 2017);
- Des manteaux, chaussures et gants chauffants grâce à la présence d'une couche thermoréfléchissante (Trepanier, 2011);
- Une couverture chauffante pour les premiers répondants comprenant un film de polyimide et des encres conductrices (Pressley, 2012);
- Un masque chauffant pour conditions extrêmes avec humidification de l'air (CozyWinters, 2017);
- Des vêtements tricotés à isolation thermique variable produits grâce à des fils à mémoire de forme (Young, 2014);
- Un gilet pare-balles avec système de thermorégulation intégré (Nideröst, 2012);
- Des vestes, manteaux et gants de travail avec système de chauffage intégré (Industrial Fabrics Association International [IFAI], septembre 2016);
- Des combinaisons de protection intégrant des matériaux à changement de phase (Fendt, 2011);
- Un vêtement de protection contre le froid thermorégulé combinant des matériaux à changement de phase et des textiles chauffants (Wang, Li, Hu, Tokura et Song, 2006);
- Des pantalons chauffants basés sur la technologie du rayonnement infrarouge lointain (Oswald, 2012);
- Des semelles à température modulable (Digitsole, 2015);
- Un matelas avec zones de chauffage et de refroidissement locales (Mason, 2015);
- Un vêtement de protection chimique thermoconducteur et refroidissant (Philips, 2015);
- Des combinaisons de travail pour les mineurs avec un système de refroidissement (www.jannatec.com).

Les technologies, solutions et produits de type indicateur/actuateur fournissant un **signal de sortie chimique ou biologique** incluent, par exemple :

- Des fibres biodégradables pour l'administration de médicaments selon un mode technologiquement avancé, la neurorégénération et l'ingénierie tissulaire (www.tissuegen.com);
- Des fils multifonctionnels antimicrobiens, produits par mélange de fibres avec des nanoparticules d'argent, des ions d'argent, des particules d'oxyde de zinc ou de la poudre de perles incorporés lors de l'extrusion des fibres/filaments ou de l'argent lié chimiquement en surface de la fibre (www.filspec.com);
- Un procédé de dépôt par diffusion de nanoparticules d'argent en aérosol sur les textiles pour un fini antibactérien résistant au lavage, bon marché et à faible impact environnemental (Feng *et al.*, 2016);

- Un système d'éléments vecteurs de produits chimiques et de médicaments à base de composés de silice pouvant être fixé pour une durée variable sur des textiles (Matos, Avelar, Martins et Gonçalves, 2017);
- Un système de libération d'ingrédients actifs fixé sur les textiles, la libération ne se produisant qu'au contact de la peau (Biomod, 2017);
- Un fini de surface antibactérien pour un textile en laine à base de nanoparticules d'argent enrobées dans de l'acide alginique pour réduire le contact direct avec la peau (Mura *et al.*, 2015);
- Un fini de surface antibactérien à base de nanogels d'argent pour un tissu de coton (Zafar, Shah, Rawal et Siores, 2014);
- Un mince film antibactérien de nanocomposite carbone de type diamant/argent pour dépôt sur des textiles (Juknius *et al.*, 2016);
- Des revêtements antimicrobiens pour les vêtements de sport (Under Armour, 2017);
- Des surfaces textiles sur lesquelles des microbes sont fixés, qui ne s'activent qu'en présence d'humidité et qui décomposent les substances organiques de la sueur à l'origine des odeurs désagréables (<http://cleansportnxt.com>);
- Un tissu fait de fibres de carbone activé (ACF), traité à l'acide pour l'assainissement de l'air en milieu hospitalier (Bivolarova, Melikov, Mizutani, Kajiwara et Bolashikov, 2016);
- Un textile antibactérien produit par dépôt d'oxyde de graphène réduit et de polypyrrole sur un tissu de polyéthylène téréphtalate (Berendjchi *et al.*, 2015);
- Des vêtements médicaux bactéricides faits de textiles avec un dépôt d'halamines, qui peuvent être rechargés par simple traitement à l'eau de javel (www.cityzensciences.com);
- Un textile délivrant des agents thérapeutiques de manière contrôlée et rechargeable pour application dans le domaine médical et dans les vêtements de sport (www.schoeller-textiles.com);
- Un timbre à libération transdermique permettant la diffusion de médicaments contre la migraine grâce au principe d'iontophorèse (Petrochko, 2013);
- Des rideaux brodés avec des fils conducteurs pour générer des stimuli sensoriels (odeur, son et lumière) (Guglielmi, 2013).

Les technologies, solutions et produits de type indicateur/actuateur fournissant un **signal de sortie optique** incluent, par exemple :

- Des fils de nanotubes de carbone recouverts de polydiacétylène ancrés avec des nanoparticules d'oxyde de zinc, pouvant être tissés et présentant des propriétés électrochromiques ajustables (Hansen, Zhong, Khor, Zheng et Yang, 2016);
- Des fibres photoniques multicouches qui changent de couleur en fonction du niveau de déformation appliqué (Perry, 2013);
- La production de lampes électroluminescentes flexibles par impression d'encre de sérigraphie sur un textile (De Vos, Torah et Tudor, 2016);
- La production de panneaux d'affichage flexibles à l'aide de diodes électroluminescentes organiques à matrice active déposées sur un tissu de polyester (Kim et Song, 2016);
- Des films électrochromiques pour des produits portables (www.argilinc.com);

- Des films électroluminescents pour intégration dans des vêtements (www.gsitech.com; <http://ggisolutions.com>);
- Un indicateur lumineux sur une pellicule mince pour intégration dans des vêtements (www.polaroled.com);
- Un textile à couleur ajustable électriquement produit par dépôt de polypyrrole sur une face d'un tissu de coton recouvert de polyester et d'encre thermochromique sur l'autre face (Huang *et al.*, 2016);
- Un textile thermochromique à contrôle actif de la température produit par impression d'encres de sérigraphie sur un tissu de coton (Ahmed, Wei, Torah et Tudor, 2016);
- Une bande textile avec diodes électroluminescentes intégrées (www.interactive-wear.de);
- Un textile émetteur de lumière (Akkermans, 2011);
- Un textile intégrant des diodes électroluminescentes (Röpert, 2011);
- Un textile recouvert d'une couche non tissée de nanofibres superréfléctrices de la lumière (Hatfield, 2013);
- Des tissus avec un enduit d'oxyde de graphène réduit dont la résistance électrique change en présence de gaz dangereux dans l'air ambiant, ce qui allume une diode électroluminescente et alerte le porteur (Lee, 2015);
- Une casquette qui projette les signes vitaux du porteur dans son champ de vision (Ethé, 2012);
- Des bracelets lumineux indiquant la proximité des personnes les portant par la fréquence du pulse de lumière (Chrysostom et Kasper, 2013);
- Des écrans d'affichage tissés et différents textiles décoratifs lumineux incorporant des fibres à bande interdite photonique (Karma Chameleon, 2017);
- Des écrans flexibles et enroulables comprenant des transistors imprimés (www.flexenable.com; www.flexterracorp.com);
- Des systèmes d'éclairage textiles portatifs à base de diodes électroluminescentes pouvant être pliés et roulés (Schmidt zur Nedden, 2015);
- Des vestes, manteaux et gants de travail avec système d'éclairage intégré (IFAI, septembre 2016);
- Une veste de sécurité avec silhouette lumineuse (Myant Capital Partners, 2016);
- Une veste de cycliste intégrant un écran flexible muni de 64 diodes électroluminescentes (Langeder, 2012);
- Des corsages, rideaux, abat-jours et autres articles textiles lumineux intégrant des diodes électroluminescentes et des fibres optiques par broderie (Forster Rohner, 2013);
- Un tee-shirt comprenant un écran de diodes électroluminescentes lavable (Zimmermann, 2015);
- Des vêtements de mode intégrant des sources de lumière (<http://3lectromode.com>);
- Des sacs à main avec système d'éclairage intérieur à diodes électroluminescentes activé par un bouton presseur brodé (Vaillancourt, 2012);
- Des rideaux brodés avec des fils conducteurs pour générer des stimuli sensoriels (lumière, son et odeur) (Guglielmi, 2013);

- Une moquette intégrant des diodes électroluminescentes et laissant passer la lumière pour l'affichage d'informations sur le sol (Picardo, 2014);
- Des panneaux textiles incorporant des diodes électroluminescentes pour la décoration intérieure (www.diffus.dk; www.largeluminoussurfaces.com);
- Une douillette de lit interactive avec effets lumineux pour les enfants (www.tilttextiles.com);
- Des gants qui changent de couleur en présence de substances chimiques toxiques (Trupp, 2013);
- Un vêtement qui change de couleur en présence d'un taux élevé de monoxyde de carbone (Bowker, 2014);
- Une étiquette pour emballage alimentaire qui change de couleur quand les aliments sont périmés (Kilshaw, 2013);
- Un tee-shirt dont la couleur change localement aux endroits où les muscles s'échauffent (Tuxboard, 2014).

Les technologies, solutions et produits de type indicateur/actuateur fournissant un **signal de sortie mécanique** incluent, par exemple :

- Des fibres polymères à mémoire de forme avec des propriétés d'amortissement des vibrations (Sharafi et Li, 2016);
- Des actuateurs haptiques fabriqués à l'aide de polymères électromécaniques qui, lorsqu'intégrés dans un vêtement, permettent de donner une rétraction lors de l'application d'une pression (www.novasentis.com);
- Des textiles magnétiques qui permettent de moduler la forme des vêtements et autres produits textiles (Smith, 2015);
- Un textile avec un enduit en silicone non newtonien, qui est flexible au toucher, mais se rigidifie en cas d'impact (Mallen, 2011);
- Une doublure piézomorphique dont la forme s'ajuste en fonction des contraintes appliquées en compression et en extension (Morris, 2013);
- Des pièces composites plastiques à renfort tissé avec des actionneurs textiles intégrés faits d'un fil hybride en alliage à mémoire de forme, fibres de verre et fibres de polypropylène (Ashir, Hahn, Kluge, Nocke et Cherif, 2016);
- Une chaussure de sport qui permet d'ajuster le support à la hauteur de la cheville grâce à un endosquelette gonflable (Reebok, 2016);
- Un soutien-gorge qui se serre ou se desserre automatiquement en fonction des efforts physiques lors d'exercices (Edwards, décembre 2014);
- Un tee-shirt multisensoriel et multidirectionnel incluant 34 points vibrants et 8 points de contraction des muscles pour une immersion dans un environnement de jeu vidéo ou d'entraînement (<https://iftech-technologies.com>);
- Une robe qui déploie une structure imbriquée expansible en fibres de carbone lorsqu'elle détecte une montée de l'adrénaline (Chromat, 2017a);
- Une brassière de sport qui ouvre des panneaux de ventilation lorsqu'elle détecte une augmentation de la respiration, de la transpiration ou de la température de l'utilisatrice (Chromat, 2017b);

- Des systèmes de distribution de la charge basés sur le biomimétisme (www.mawashi.net/fr);
- Un dispositif textile destiné aux athlètes qui applique une vibration localisée à une fréquence ciblée pour favoriser l'échauffement et améliorer la récupération musculaire (Leftly, 2015);
- Des articles textiles tricotés (bas de compression, vêtements de sport) permettant l'application de différents niveaux de compression selon l'endroit (Rock et Charma, 2016a);
- Un bas de compression qui imite des contractions musculaires rythmées du mollet et qui stimule la circulation sanguine : il s'étire et se contracte quand il est stimulé par une impulsion électrique (www.elastimed.com) (figure 7).



Figure 7 – Bas de compression intelligent.

Tirée de www.elastimed.com

Les technologies, solutions et produits de type indicateur/actuateur fournissant un **signal de sortie physique** incluent, par exemple :

- Un traitement de surface à base de polyacrylamide qui permet à un tissu de coton de passer de manière réversible d'hydrophile à hydrophobe lors d'une augmentation de température (Chen, Fang, Zhong, Chen et Wang, 2015);
- Un traitement de surface superhydrophobe et superoléophobe pour surfaces vitrées produit par formation d'une rugosité hiérarchique de nanopilliers et nanoparticules (Mazumder *et al.*, 2014);
- Un textile en polyester greffé par du poly(N-isopropylacrylamide) qui passe de façon réversible de hydrophile à hydrophobe sous l'effet d'une augmentation de la température de 25 à 50 °C (Wu *et al.*, 2015);
- Un textile en laine superhydrophile produit par dépôt d'une combinaison de nanoparticules de dioxyde de silice, de dioxyde de titane et d'argent (Mura *et al.*, 2015);
- Un textile en laine hydrophobe et autonettoyant sous irradiation par le soleil produit par dépôt d'une combinaison de nanoparticules de dioxyde de titane et de dioxyde de silice (Mura *et al.*, 2015);

- Des textiles superhydrophobes, autonettoyants par effet photocatalytique et thermorégulants, préparés par dépôt d'un mélange multiéchelle de nanoparticules cœur/gaine de dioxyde de vanadium/dioxyde de titane et de particules de dioxyde de titane dispersées dans du perfluorooctyltriéthoxysilane (Lu *et al.*, 2017);
- Un tissu en coton à respirabilité activée thermiquement produit par dépôt de poly(N-tert-butylacrylamide-ran-acrylamide) (Save, Jassal et Agrawal, 2005);
- Un soutien-gorge de sport qui augmente sa respirabilité en ouvrant ses micropores lorsqu'il détecte une augmentation de chaleur et d'humidité (Craddock et Akhtar, 2015);
- Des rideaux brodés avec des fils conducteurs pour générer des stimuli sensoriels (son, lumière et parfum) (Guglielmi, 2013);
- Une oreillette bionique sur mesure pour le contrôle du bruit (Voix, 2017);
- Une veste dorsale qui transmet le son à travers le corps (<http://subpac.com>).

Les technologies, solutions et produits de type indicateur/actuateur fournissant un **signal de sortie électrique** incluent, par exemple :

- Des fibres et fils antistatiques (Bekaert, 2015);
- Des fils conducteurs et antistatiques (www.filspec.com);
- Des fibres de viscose qui dissipent l'électricité statique grâce à la présence d'additifs conducteurs dans le cœur de la fibre (IFAI, octobre 2016);
- Une ceinture textile électronique pour le traitement de la douleur au dos (Haberlandt, 2015);
- Un défibrillateur portable intégré dans une veste qui se déclenche automatiquement lorsqu'il détecte une fréquence cardiaque anormale (Egan, 2011);
- Une combinaison d'entraînement pour les athlètes basée sur la stimulation musculaire électrique intégrée par électromyographie de surface (<https://antelope.club>);
- Des accessoires textiles intégrant des électrodes stimulant électriquement les muscles des jambes pour une assistance à la marche pour les personnes souffrant de troubles moteurs (Meikle, 2013).

Les technologies, solutions et produits de type indicateur/actuateur fournissant un **signal de sortie de type énergie** incluent, par exemple :

- Des fibres actives photovoltaïques produites par dépôt de nanocouches de composés polymériques organiques sur une fibre de polypropylène (Bedeloglu *et al.*, 2010);
- Des supercondensateurs fibreux constitués de fils de nanofibres de carbone avec des structures de pores ajustables pour le stockage de l'énergie (Shi *et al.*, 2016);
- Un fil supercondensateur à mémoire de forme en nickel titane sur un support d'acier pour la fabrication de textiles de stockage d'énergie avec des capacités réparatrices de l'endommagement par déformation mécanique (Huang *et al.*, 2016);
- Un fil supercondensateur à électrolyte solide fait de fibres de carbone conductrices et de particules de charbon actif (Zhai *et al.*, 2015);
- Des fils faits de feuillets d'oxyde de graphène autoassemblés pour la fabrication de textiles de stockage d'énergie tout carbone (Aboutalebi *et al.*, 2014);

- Des fils photovoltaïques recouverts de gel électrolytique pour la production de cellules solaires textiles (Adream, 2012);
- Une encre conductrice à base de nanofils d'argent pour la production d'un textile flexible et conducteur pour le stockage d'énergie et la conversion photothermique (Yang *et al.*, 2016);
- Une technologie de transmission d'énergie sans fil par résonance magnétique pour application vestimentaire réalisée à l'aide de bobines constituées d'un fil conducteur de filaments de cuivre recouverts d'argent enroulés autour d'un faisceau de filaments de polyester (Jeong, Yun, Baek et Kim, 2016);
- Une contre-électrode pour cellule solaire à pigments photosensibles faite d'un tissu de coton enduit d'oxyde de graphène réduit (Sahito, Sun, Arbab, Qadir et Jeong, 2015);
- La fabrication de cathodes par sérigraphie pour la production d'accumulateurs lithium-ion flexibles et minces (Syrový *et al.*, 2016);
- Une pile galvanique flexible produite par étirage de fibres (Qu, Semenikhin et Skorobogatiy, 2015);
- Des piles rechargeables minces et flexibles (<http://jenaxinc.com/>; www.brightvolt.com; www.enfucell.com; www.imprintenergy.com);
- Des générateurs thermoélectriques flexibles (www.otego.de);
- Des générateurs flexibles constitués de minidrapeaux piézoélectriques (www.piezoskin.com);
- Des films piézoélectriques faits de polymères électroactifs (www.piezotech.eu/en);
- Un matériau piézoélectrique fait d'un tissu recouvert d'une fine couche d'or et de nanoécailles de tellure utilisable pour la génération d'énergie par le corps humain (He *et al.*, 2016);
- Un tissu autoalimenté par énergie solaire et triboélectricité produit par hybridation de nanogénérateurs, de cellules solaires à pigments photosensibles et de supercondensateurs fibreux (Wen *et al.*, 2016);
- Un tissu qui collecte l'énergie solaire et la convertit en électricité (Behling, 2013);
- Un textile qui récupère la chaleur dégagée par le corps et la transforme en énergie pour recharger un téléphone cellulaire (Beeby, 2013);
- Une structure textile multicouche ultra-isolante combinée à des systèmes flexibles de captation d'énergie solaire qui est convertie en chaleur (Stegmaier, 2013);
- Un film photovoltaïque flexible incluant des nanotiges de dioxyde de titane et d'oxyde de magnésium obtenues à partir de nanofibres cœur-gaine produites par coélectrofilage (Du, Song, Xiong, Wang et Li, 2013);
- Des films photovoltaïques organiques (www.eight19.com; www.oe-technologies.com);
- Des films photovoltaïques à haute efficacité (28-31 %) pour des applications portables (www.altadevices.com);
- Un film plastique photovoltaïque très mince pour application sur les auvents et bâches extérieures (Brabec, 2011);
- Des films photovoltaïques transparents pour les vitres d'automobiles (Rohr, 2012);

- Un générateur triboélectrique textile flexible, extensible et transparent pour application comme matériau de gants produit par dépôt de nanofils d'argent et de feuillets de graphène sur des tissus commerciaux (Wu, Kim, Li et Guo, 2016);
 - Un textile piézoélectrique produit par croissance de nanoaiguilles d'oxyde de zinc sur un tissu conducteur à base d'argent (Khan, Hussain, Nur et Willander, 2014);
 - Un supercondensateur textile hybride produit par dépôt de nanoparticules de noir de carbone et d'oxyde métallique (Pereira et Pereira, 2016);
 - Une cellule photovoltaïque organique textile susceptible d'être cousue (Lee, Lee, Park et Choi, 2014);
 - Un système de génération d'énergie par effet photovoltaïque et de recharge d'appareils mobiles intégrable dans les vêtements et articles textiles (www.interactive-wear.de);
 - Un système combinant un nanogénérateur d'énergie triboélectrique textile et une ceinture flexible avec une batterie lithium-ion (Pu *et al.*, 2015);
 - Une robe de bureau avec récupération de l'énergie cinétique générée à la hauteur de la région lombaire par le travail de bureau (Karma Chameleon, 2017);
 - Des stores textiles absorbant l'énergie solaire (Trichur, 2011);
 - Une chemise incorporant 120 cellules solaires à couches minces interconnectées transparentes (De Kok, 2015);
 - Des vestes pour hommes et femmes avec panneaux solaires textiles amovibles pour la recharge d'appareils électroniques (Tilander et Touhey, 2015);
 - Une veste avec une antenne textile à double bande intégrée pour la captation d'énergie électromagnétique, produite par laminage ou broderie (Loss *et al.*, 2016);
 - Un harnais qui emmagasine l'énergie cinétique générée lors des mouvements effectués pour soulever des charges et qui inclut un système de surveillance des mouvements réalisés (www.fraunhofer.de);
 - Un sac à main avec paillettes photovoltaïques pour la recharge de petits appareils électriques/électroniques (Johannesen, 2011);
- Une membrane piézorésistive pour la génération d'énergie par le déplacement des piétons (Kemball-Cook, 2014).

Les technologies, solutions et produits de type indicateur/actuateur fournissant un **signal de sortie de type blindage** incluent, par exemple :

- Des polymères utilisables pour le blindage contre les rayons gamma et les neutrons (Sayyed, 2016);
- Des fibres et des fils pour le blindage électromagnétique (Bekaert, 2015);
- Un tissu fait de fibres de méta-aramide et d'acier inox présentant des propriétés de blindage électromagnétique (Šafářová et Militký, 2014);
- Des tissus enduits pour le blindage électromagnétique contenant différents additifs conducteurs (Rubežienė *et al.*, 2015);
- Un textile bloqueur de rayons UV produit par dépôt d'une couche de nanocomposite d'oxyde de graphène réduit et de dioxyde d'étain (Babaahmadi et Montazer, 2016).

4.1.3 Matériaux

Sous la catégorie « Matériaux » ont été regroupés les technologies, solutions et produits qui concernent les matériaux et les composants en tant que tels sans référence précise à leur application. Ces technologies, solutions et produits de type matériau ont ensuite été répartis en différentes catégories :

- Polymère
- Carbone
- Métal
- Encre
- Connecteur
- Antenne
- Technique d'intégration
- Méthode d'essai

Les technologies, solutions et produits de type matériau **polymère** incluent, par exemple :

- Des fibres conductrices produites par filage par voie humide à partir de polyaniline à haut poids moléculaire (Bowman et Mattes, 2005);
- Un revêtement conducteur à base de polyaniline pour les textiles préparé par polymérisation chimique oxydative (Abu-Thabit, 2016);
- Un traitement à base de pyrrole permettant de rendre conducteur du cuir (Wegene et Thanikaivelan, 2014);
- Un revêtement à conductivité électrique modulable en fonction du pH de l'environnement liquide préparé par greffage de polyaniline sur des textiles (Wu *et al.*, 2015);
- Un réseau de zones conductrices flexibles en polypyrrole sur un support textile préparé par dépôt local d'un agent oxydant (Tao, Leung, Yuen, Kwok et Ho, 2009);
- Des membranes en polyuréthane dont la perméabilité à la vapeur d'eau varie en fonction de la température (Ding, Hu, Tao et Hu, 2006);
- Un film polymérique conducteur et transparent (www.agfa.com).

Les technologies, solutions et produits de type matériau **carboné** incluent, par exemple :

- Un supercondensateur filaire tricotable fait d'un squelette de coton sur la surface duquel s'autoassemblent des hydrogels de graphène et des nanotubes de carbone (Zhou, Jia, Ye, Tang et Wan, 2016);
- Un supercondensateur filaire tissable fait de fibres hybrides continues d'alcool polyvinylique et d'oxyde de graphène réduit (Chen *et al.*, 2016);
- Un traitement conducteur à base de nanotubes de carbone pour les textiles appliqué par le biais d'une teinture à base de polyaniline sulfoné (In het Panhuis, Wu, Ashraf et Wallace, 2007);
- Un traitement à base de nanotubes de carbone permettant de rendre conducteur et hydrophobe un tissu de polyester-coton (Kowalczyk, Brzeziński, Makowski et Fortuniak, 2015);

- Le dépôt d'un réseau 3D de nanotubes de carbone multiparois sur la surface d'un tissu de polyester permettant de donner à ce dernier des propriétés semi-conductrices (Makowski, Grala, Fortuniak, Kowalczyk et Brzezinski, 2016);
- Un traitement de surface à base de nanorubans de graphène permettant de rendre un tissu de coton conducteur (Gan, Shang, Yuen et Jiang, 2015).

Les technologies, solutions et produits de type matériau **métallique** (fil ou dépôt de surface) incluent, par exemple :

- Des fibres conductrices à haute résistance mécanique produites par dépôt d'argent, de cuivre ou de nickel sur des fibres de Kevlar® (ARACON, 2017) (www.araconfiber.com);
- Des fibres antistatiques conductrices (<https://newfibers.en.ec21.com>);
- Des fibres, des filés de fibres mono et des multifilaments ainsi que des fils d'acier inoxydable (www.durafil-thread.com; Tibtech innovations, 2010; www.adafruit.com; <http://ds.arcelormittal.com/>; www.sparkfun.com);
- Des fibres acryliques et de nylon, recouvertes de sulfure de cuivre (www.marktek-inc.com);
- Des fils conducteurs pour la fabrication de textiles intelligents, faits de fibres d'acier inoxydable seules ou mélangées avec d'autres fibres naturelles ou synthétiques (Bekaert, 2015);
- Des fils conducteurs polyester/acier (www.plugandwear.com; www.schoeller-wool.com);
- Des fils conducteurs de nylon recouverts d'argent (www.marktek-inc.com; www.plugandwear.com; www.shieldextrading.net);
- Des fils conducteurs de Zylon et de Vectran recouverts de métal (www.metalcladfibers.com);
- Fils conducteurs multifilamentaires de nylon ou de polyester avec carbone ou oxyde d'étain (Jarden Applied Materials, 2008);
- Des faisceaux de fibres de graphite recouvertes de nickel (www.marktek-inc.com);
- Des fils conducteurs produits par filage à âme avec un cœur en cuivre, en acier inoxydable ou en cuivre recouvert d'argent entouré de fibres de coton (Uzun, Sancak et Usta, 2015);
- Des fils à cœur conducteur en cuivre ou en acier enrobé de fibres non conductrices (www.filspec.com);
- Des fils en cuivre émaillé avec option de revêtement en polyuréthane ou en polyuréthane/polyamide (www.elektrisola.com);
- Un fil transistor flexible produit par évaporation successive de matériaux fonctionnels (semi-conducteur, source, drain), sur un fil métallique recouvert d'une fine couche de polyimide (Maccioni, Orgiu, Cosseddu, Locci et Bonfiglio, 2006);
- Des fils à coudre et à broder conducteurs (Tibtech innovations, 2010);
- Des tissus conducteurs de nylon recouverts d'argent, de cuivre, de nickel, d'étain, de cuivre/nickel, et d'étain/nickel avec une couche intermédiaire d'argent (www.adafruit.com; www.shieldextrading.net; www.sparkfun.com);
- Un tricot conducteur en nylon recouvert d'argent (www.sparkfun.com);

- Le dépôt galvanique de cristaux de cuivre sur des textiles conducteurs de polyéthylène téréphtalate recouvert de polyaniline (Zhao, Cai, Fu, Song et Zhu, 2013);
- Un cuir artificiel conducteur thermique composé d'un tricot de filaments de nylon enduits d'argent recouvert de polyuréthane (Yang, Wang et Li, 2016).

Les technologies, solutions et produits de type **encre** incluent, par exemple :

- Une encre conductrice à base de nanotubes de carbone, applicable par trempage sur un tissu de coton (Thangakameshwaran et Santhoskumar, 2014);
- Une encre réactive pour un dépôt conducteur, transparent et stable thermiquement de poly (3,4-ethylenedioxythiophene) sur des tissus de polyacrylonitrile et polyester (Stempien, Rybicki, Rybicki et Kozanecki, 2016);
- Une encre réactive à base de nitrate d'argent et d'acide ascorbique pour le dépôt de pistes conductrices de nanoparticules d'argent sur un tissu à l'aide d'une imprimante à jet d'encre (Ghahremani, Babaei et Latifi, 2015);
- Des encres conductrices à base d'une solution aqueuse d'ions argent pour impression sur des textiles par imprimante à jet d'encre (Stempien, Rybicki, Rybicki et Lesnikowski, 2016);
- Une encre conductrice à base d'argent appliquée par sérigraphie sur un textile non tissé résistant au nettoyage à sec grâce à une encapsulation par une couche de polyuréthane (Kazani, Hertleer, De Mey, Guxho et Van Langenhove, 2013);
- Des encres conductrices à base d'argent pour impression par sérigraphie ou jet d'encre (<https://inkron.com/>; www.protavicamerica.com);
- Des encres conductrices à base de nanoparticules et de nanofibres d'argent pour application en électronique imprimée et optoélectronique, respectivement (www.nanogap.es);
- Une encre conductrice transparente à base d'amas solubles d'argent (<http://inktec.com>);
- Une encre conductrice transparente à base de nanofils d'argent (www.dycotecmaterials.com);
- Des encres conductrices à base de nanoparticules et de paillettes d'argent et d'oxyde de cuivre (www.novacentrix.com);
- Des encres pour l'électronique imprimée flexible à base d'argent, de chlorure d'argent, de carbone, de graphite, de cuivre enduit d'argent, d'or, de platine, de matériaux diélectriques, etc., certaines transparentes et d'autres électroluminescentes (www.erconinc.com; www.henkel.com; www.sunchemical.com; <http://vfp-ink-technologies.com>);
- Des encres conductrices et semi-conductrices à base de nanoparticules d'argent, d'oxyde de zinc et d'oxyde de zinc dopé à l'aluminium pour application en électronique imprimée, en photovoltaïque organique et en éclairage par diodes électroluminescentes organiques (www.genesink.com);
- Des encres conductrices à base de cuivre (<http://intrinsiqmaterials.com>);
- Des encres conductrices à base de graphène (www.heraeus.com);
- Une encre conductrice transparente à base de nanotubes de carbone et de polymère conducteur (www.poly-ink.fr);

- Une encre conductrice à base de polymère conducteur de type polythiophène (www.nagasechemtex.co.jp);
- Des tissus de nylon intégrant des circuits imprimés produits à l'aide d'encre conductrices (Fibre2Fashion, 2016).

Les technologies, solutions et produits de type **connecteur** incluent, par exemple :

- Une structure en élastomère recouvert de polymère conducteur comme contact électrique entre les fils de chaîne et de trame d'un tissu (Yamashita, Takamatsu, Miyake et Itoh, 2012);
- Des points de raccord électriques sur tissu, réalisés par impression avec applicateur (*dispenser printing*) d'encre diélectrique utilisée comme interface entre le tissu et l'encre conductrice (Ahmed, Torah, Yang, Beeby et Tudor, 2016);
- Un adaptateur permettant de connecter de manière mécanique, sans soudure, les broches d'un composant électrique avec les fils conducteurs d'une structure tissée ou tricotée (Mikkonen et Pouta, 2016);
- L'intégration de puces sur un textile à l'aide d'adhésif, conducteur ou non, selon la technique de puce inversée (*flip-chip*) (Choi et Oh, 2015);
- Des connecteurs textiles (Asiatic Fiber Corporation, 2016).

Les technologies, solutions et produits de type **antenne** incluent, par exemple :

- Une antenne textile à polarisation double intégrée dans un tissu orthogonal 3D (Du, Yang et Zhong, 2015);
- Une antenne textile faite de fils multifilamentaires composites fixés par broderie sur un tissu de coton (Huang, Jiang, Wang, Wu et Chen, 2016);
- Une antenne textile pour la communication par fréquences radio produite par broderie de fils polymères recouverts de métal (Kiourti et Volakis, 2016);
- Une antenne structurelle 3D tissée (Xu, Zhu, Ma et Qiu, 2016);
- Une antenne à couplage inductif imprimée sur un tissu recouvert d'un enduit de silicone (Suh, Carroll, Grant et Oxenham, 2013, 2014);
- Une antenne microruban flexible produite par dépôt de cuivre par impression avec applicateur (*dispenser printing*) sur un tissu de coton (Li, Li et Wang, 2014);
- Une antenne pour transpondeur haute fréquence intégrée dans un textile (Stobbe, 2011);
- Une antenne textile reconfigurable à très large bande (Da Conceição Andrade, Fonseca, Jilani et Alomainy, 2016).

Des technologies, solutions et produits de type **technique d'intégration** incluent, par exemple :

- La fabrication de capteurs tout textile par assemblage par broderie de la structure multicouche de tissus conducteurs, isolants et espaceurs et des fils constituant le circuit électrique (Roh, 2017);
- La production de capteurs textiles de type électrode, détecteur de température résistif et jauge de déformation par sérigraphie à l'aide d'encre conductrices (Rai *et al.*, 2011);

- La production d'un textile conducteur imperméable et durable par sérigraphie tricouche incluant une encre conductrice à base d'argent et une couche d'encapsulation finale (Yang, Torah, Wei, Beeby et Tudor, 2013);
- Des techniques pour intégrer dans des structures textiles des bandes de plastique flexibles utilisées comme support pour des composants électroniques (Zysset *et al.*, 2013);
- La production de composants électroniques intégrés dans des structures textiles durant le procédé de tissage par entrecroisement de conducteurs électriques dans les fibres en chaîne et en trame du tissu (Swallow et Peta-Thompson, 2013);
- Un assemblage comprenant un composant électronique ou optoélectronique rigide en contact électrique avec les fils conducteurs électriques d'un textile flexible ou extensible, la zone de contact étant encapsulée par une couche d'élastomère (Van Keymeulen, 2016);
- La production d'un circuit électrique intégré dans un tissu (Locher et Tröster, 2008).

Des références ont également été recensées concernant des **méthodes d'essai et des modèles** pertinents aux textiles intelligents. Elles incluent, par exemple :

- Un banc d'essai pour tester la résistance des pistes conductrices à l'usure (Paul, Torah, Yang, Beeby et Tudor, 2014);
- Un modèle géométrique de la résistance électrique d'un tricot conducteur en maille piquée (Liu, Tong, Yang et Li, 2017);
- Un modèle prédictif de la rupture des fils conducteurs dans les structures tissées en fonction des paramètres textiles (De Vries et Peerlings, 2014);
- Un modèle analytique permettant de prédire le comportement statique et dynamique d'un textile électrothermique (Li, Au, Ding, Hua et Wong, 2014).

Finalement, certaines technologies, solutions et produits pertinents aux textiles intelligents sont apparus en marge des différentes catégories proposées. Cela inclut, par exemple :

- Des applications et logiciels qui gèrent et transmettent les données collectées (Das, Beatty et Dutta, 2014; Frydrysiak et Tesiorowski, 2016);
- Des entreprises qui réalisent l'intégration de capteurs dans des articles textiles (www.cityzensciences.com; www.myant.ca);
- Des entreprises qui développent des plateformes, applications et logiciels d'analyse des données captées par les textiles, par exemple, pour la reconnaissance des émotions à partir des signes physiologiques (www.sensauratech.com) et l'évaluation des performances des joueurs sur un terrain, incluant leur position, et les analysent (<https://micoach.adidas.com>).

4.2 Recensement des problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels

Au total, 29 personnes-ressources ont fourni des réponses sur les problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels : huit chercheurs dans le domaine de la SST, 12 conseillers en prévention d'associations sectorielles paritaires ou professionnelles, et neuf représentants d'entreprises manufacturières ou utilisatrices d'équipements de protection.

Afin de faciliter l'étape ultérieure du recoupement des problématiques avec les solutions disponibles, les réponses obtenues exprimées sous forme de besoins ont été structurées selon le même classement utilisé pour les technologies, solutions et produits pertinents aux textiles et matériaux souples intelligents, c'est à dire en catégories « Capteurs » et « Actuateurs/indicateurs » et sous-catégories correspondantes (sous-section 4.1). Les besoins en matériaux résistant à des risques spécifiques ont été inclus dans les sous-catégories correspondantes de la catégorie « Actuateurs/indicateurs ». En effet, des solutions à ces problématiques pourraient être disponibles sous la forme d'actuateur agissant sur les stimuli correspondants. La catégorie « Matériaux » a été remplacée par une catégorie « Autres » pour inclure quelques problématiques liées aux questions de design et de connaissances, par exemple. Dans certains cas, les problématiques pouvaient être liées à plusieurs catégories et sous-catégories.

4.2.1 Capteurs

Les besoins relevant de la catégorie « Capteurs » représentent le quart des réponses données. Ils ont ensuite été répartis selon le type de stimulus auquel ils correspondent : thermique, mécanique, chimique, électrique et physique.

Le tableau 3 donne la répartition des besoins rapportés dans la catégorie « Capteurs » selon le type de stimulus. Les besoins correspondant au stimulus de nature physique sont les plus fréquents.

Tableau 3 – Répartition des problématiques en SST liées à l'usage des textiles traditionnels selon les sous-catégories de la catégorie « Capteurs »

	Stimulus				
	Thermique	Mécanique	Chimique	Électrique	Physique
Problématiques	9 %	20 %	20 %	20 %	31 %

Les besoins de type capteur correspondant à un **stimulus thermique** incluent :

- Un vêtement incorporant un système de détection de la température du corps alertant le travailleur lorsque le besoin de prendre une pause se fait sentir, en particulier pour le travail dans les mines profondes;
- Un vêtement détectant les signes avant-coureurs de stress thermique et avertissant le travailleur du danger;
- Un vêtement capable de faire le suivi des paramètres affectant le confort, incluant les températures intérieure et extérieure.

Les besoins de type capteur correspondant à un stimulus mécanique comprennent :

- Un capteur de mouvement pour les pompiers;
- Un textile permettant le suivi des points de pression pour les personnes continuellement alitées dans les services de santé afin d'éviter les escarres;
- Un bracelet ou un textile pour la détection des mouvements brusques chez les patients à tendance violente;
- Un capteur textile pour le suivi de la posture et la détection de mouvements inadéquats;
- Un capteur dans les harnais de protection permettant d'avertir l'entourage en cas de chute de hauteur;
- Un gant permettant de détecter quand le niveau de pression appliquée et l'orientation du mouvement peuvent engendrer une blessure pour le thérapeute;
- Un sous-vêtement permettant d'avertir en cas d'avachissement graduel en position assise pour les employés de bureau;
- Un vêtement avec capteur intégré des paramètres cardiorespiratoires pour avertir les travailleurs en conditions extrêmes avant qu'ils n'atteignent la limite de leurs capacités;
- Un indicateur de fin de vie utile pour les vêtements et équipements de protection contre les risques mécaniques soumis à l'effet d'usure par abrasion et/ou par des lavages, par exemple.

Les besoins de type capteur correspondant à un stimulus chimique incluent :

- Un vêtement pour les sauveteurs miniers intégrant un détecteur de gaz dangereux (méthane, oxyde de carbone, dioxyde de soufre);
- Un vêtement intégrant un système de détection des contaminants tels que le formaldéhyde, l'amiante, le dioxyde de carbone et l'oxyde de carbone;
- Un sarrau avec un capteur permettant de déterminer s'il est contaminé ou s'il peut encore être utilisé pour réduire la quantité de déchets liés à l'utilisation de vêtements de protection à usage unique dans le domaine de la santé et des services sociaux;
- Un système intégré dans le vêtement ou le gant de protection permettant de déterminer s'il y a un risque de contamination en cas de coupure ou de piqûre;
- Un capteur textile permettant de savoir si le travailleur est effectivement exposé à des composés chimiques étant donné que les produits sont généralement incolores;
- Des vêtements pour les premiers répondants permettant de savoir s'il y a eu contamination chimique ou biologique;
- Un indicateur de fin de vie utile intégré aux vêtements de protection contre les risques chimiques pour pallier l'inapplicabilité du temps de claquage en raison du caractère généralement incolore des produits;
- Un capteur intégré dans le vêtement de protection renseignant sur la nature et l'ampleur de l'exposition à des produits chimiques;
- Un vêtement avertissant immédiatement le travailleur en cas d'exposition à des produits chimiques.

Les besoins de type capteur correspondant à un **stimulus électrique** comprennent :

- Un capteur des signes vitaux intégré dans le vêtement de pompier pour contrôler les effets du stress thermique;
- Un capteur de signes vitaux intégré dans le vêtement pour les travailleurs isolés ou en espace clos, par exemple dans les secteurs du dépannage automobile, de la sécurité routière, de la construction, de la santé et des services sociaux;
- Un vêtement avec capteur intégré des paramètres cardiorespiratoires pour avertir les travailleurs en conditions extrêmes avant qu'ils n'atteignent la limite de leurs capacités;
- Un vêtement qui détermine quand une pause est nécessaire dans le cas d'activité et/ou de chaleur intense et quand le travailleur est suffisamment reposé pour reprendre ses activités professionnelles.

Les besoins de type capteur correspondant à un **stimulus relié à l'environnement physique** comprennent :

- Un capteur de géolocalisation intégré dans le vêtement de pompier pour déterminer sa position en cas de perte de connaissance;
- Un capteur de géolocalisation intégré dans le vêtement pour les travailleurs isolés, par exemple, dans les secteurs du dépannage automobile, de la sécurité routière, de la construction, de la santé et des services sociaux;
- Un capteur de géolocalisation intégré dans le vêtement du travailleur dans la mine pour pouvoir déterminer sa position en cas d'accident;
- Un système pour les travailleurs dans les mines permettant une meilleure interactivité homme/machine, par exemple, pour la signalisation sous terre;
- Une alternative plus efficace au système actuel d'alarme sonore de recul, que les travailleurs n'entendent pas en raison de leur protecteur auditif ou des bruits ambiants, ou n'entendent plus en raison de l'habitude, pour le domaine de la construction;
- Un système d'évaluation des distances dans le noir ou en cas de fumée;
- Un système pour la gestion du mouvement des piétons et des véhicules dans des événements tels que des encans ou sur les chantiers de travaux publics;
- Un capteur intégré dans les vêtements pour alerter en cas d'exposition aux rayons X;
- Un capteur textile qui alerte quand le bruit est trop élevé;
- Des vêtements de protection intégrant des dispositifs de mesure du bruit;
- Un vêtement capable de faire le suivi des paramètres affectant le confort, incluant l'humidité intérieure ou extérieure.

4.2.2 Indicateurs/actuateurs

Les problématiques correspondant à des besoins en indicateur ou en actuateur représentent près des trois quarts des réponses données. Elles ont ensuite été réparties en sous-catégories : thermique, chimique/biologique, optique, mécanique, physique, électrique, énergie et blindage. Cette sous-section comprend aussi les besoins en matériaux permettant de mieux protéger contre les risques correspondants aux différentes sous-catégories.

Le Tableau 4 illustre la répartition des problématiques rapportées dans la catégorie « Indicateurs/actuateurs » selon le type de signal de sortie. Les problématiques dont la solution relève d'un indicateur/actuateur donnant un signal de sortie de types thermique et mécanique sont les plus fréquentes.

Tableau 4 – Répartition des problématiques selon les sous-catégories de la catégorie « Indicateurs/actuateurs »

	Sortie							
	Thermique	Chimique/ biologique	Optique	Mécanique	Physique	Électrique	Énergie	Blindage
Problématiques	32 %	11 %	2 %	31 %	17 %	2 %	2 %	3 %

Les besoins de type indicateur/actuateur/matériau correspondant à un **signal de sortie thermique** incluent :

- Des vêtements de protection pour les policiers à moto intégrant un système de régulation thermique, en particulier contre les températures élevées;
- Des vêtements de protection avec un système de régulation thermique pour les transporteurs et les signaleurs;
- Des vêtements intégrant un système de régulation thermique pour le secteur de la construction;
- Des vêtements de ville intégrant un système de régulation thermique pour les concessionnaires dans le secteur de l'automobile;
- Des vêtements de protection intégrant un système de régulation thermique (chaud et froid) pour les travailleurs dans les mines souterraines, en particulier dans les mines profondes où la température est très élevée;
- Des vêtements de protection avec systèmes passif et actif d'évacuation de la chaleur pour les travailleurs dans les mines profondes;
- Des vêtements et accessoires non textiles intégrant un système de régulation thermique pour gérer l'alternance entre les temps actifs et les temps d'attente (au chaud ou au froid) pour les travailleurs dans les mines à ciel ouvert afin d'éviter, par exemple, les risques d'engelures;
- Des vêtements avec un système de compensation thermique pour permettre une variation graduelle de la température et éviter le phénomène de « coup de vent » en été pour le travail alternant entre la chaleur de l'extérieur et l'air conditionné à l'intérieur;
- Des vêtements intégrant un système de régulation thermique (conditions chaudes) pour les secteurs de la teinturerie et des pâtes et papier, par exemple;
- Des vêtements intégrant un système de régulation thermique pour les travailleurs opérant dans des conditions climatiques changeantes;

- Des vêtements ignifuges et anti-UV intégrant un système de refroidissement pour les soudeurs;
- Des vêtements de protection contre les risques électriques intégrant un système de régulation thermique pour les conditions estivales et hivernales;
- Des vêtements de protection dont la plus grande épaisseur associée à la plus grande résistance et à une meilleure protection offerte est compensée par un système de refroidissement pour éviter la chaleur excessive dans les conditions extérieures chaudes et en situation d'efforts physiques (la problématique est commune à plusieurs secteurs d'activité);
- Des vêtements de protection contre les risques chimiques et contre le feu, et d'autres environnements fermés avec un système de régulation thermique pour limiter la formation d'un microclimat chaud et le stress thermique;
- Un revêtement avec régulation thermique pour les sièges dans les chaînes de montage;
- Des harnais contre les chutes de hauteur avec un système de régulation thermique pour éviter la chaleur excessive;
- Des harnais contre les chutes de hauteur résistant aux projections de métal liquide (lors d'opérations de soudage ou d'oxycoupage);
- Des vêtements avec un système de chauffage intégré pour les personnes œuvrant à l'extérieur en conditions hivernales (incluant pour les déplacements en motoneige et le passage de cours d'eau);
- Des vêtements, incluant des gants, combinant le confort, en particulier la protection contre le froid, et la fonctionnalité, par exemple la dextérité;
- Des vêtements de protection contre le froid moins épais et moins encombrants;
- Des vêtements et produits textiles intégrant des matériaux à changement de phase;
- Des masques chauffants pour réchauffer l'air inspiré pour les travailleurs dans des environnements froids (ex., extérieur en hiver et dans les lieux ou les entrepôts frigorifiques);
- Des gants chauffants permettant de réduire les effets du syndrome de Raynaud;
- Des gants antivibratiles avec un niveau de confort thermique plus élevé;
- Des coquilles pour les oreilles offrant un confort thermique plus élevé;
- Une cagoule permettant aux pompiers de conserver leur chaleur;
- Des bottes offrant un confort thermique plus élevé.

Les besoins de type indicateur/actuateur/matériau correspondant à un **signal de sortie chimique ou biologique** incluent :

- Des vêtements et gants de protection offrant un système de neutralisation de l'agent biologique en cas de coupure ou de piqûre pour les premiers répondants;
- Des vêtements et gants de protection offrant une neutralisation contre les agents biologiques (seringue souillée) et les produits chimiques (acides, hydrocarbures, électrolyte à batterie) pour le domaine de l'automobile et de la sécurité routière;
- De meilleurs outils textiles pour la gestion des risques biologiques dans le secteur de la teinturerie;

- Des vêtements respirants offrant une protection en cas de risque d'exposition aux fibres d'amiante;
- Des barrières de protection dont les performances sont plus efficaces contre les mélanges de pesticides;
- Des vêtements offrant une protection chimique universelle, couvrant une large gamme de substances auxquelles les travailleurs sont exposés;
- Des cartouches de protection respiratoire contre le monoxyde de carbone;
- Des gants de protection combinant à la fois la résistance aux risques chimiques et mécaniques;
- Des survêtements de travail permettant d'éviter que la poussière contenant du plomb qui se dépose lors des activités dans la zone de fusion ne vienne contaminer les salles de repos et de repas;
- Des vêtements de protection avec traitement antibactérien pour permettre la décontamination en absence d'autoclave;
- Une cagoule de pompiers imperméable aux produits de combustion;
- Des para-aramides qui peuvent être teints.

Les besoins de type indicateur/actuateur/matériau correspondant à un **signal de sortie optique** incluent :

- Des vêtements de haute visibilité qui restent efficaces même en cas de bruine;
- Une visière verte pour la protection contre l'arc électrique qui permet de distinguer les couleurs des fils électriques.

Les besoins de type indicateur/actuateur/matériau correspondant à un **signal de sortie mécanique** incluent :

- Des tissus de protection plus souples contre les risques électriques;
- Des vêtements et gants de protection contre les risques électriques et l'arc qui offrent une meilleure dextérité;
- Des vêtements de protection contre les risques électriques qui offrent une meilleure durabilité sur le plan de la résistance à la déchirure et à l'abrasion;
- Des exosquelettes textiles pour aider à garder une bonne ergonomie pour la réalisation de certaines tâches dans le domaine de la construction;
- Des vêtements qui permettent d'éviter les mouvements inadéquats et d'offrir un soutien en cas de posture inconfortable;
- Des cagoules de pompiers dont l'élastique résiste mieux à l'usure;
- Des vêtements et gants de protection chimique spécifiquement adaptés à la tâche à effectuer;
- Des vêtements et gants de protection contre les risques chimiques qui offrent fonctionnalité et confort;
- Des gants de protection combinant à la fois la résistance aux risques chimiques et mécaniques;
- Des gants de protection offrant une résistance à la piqûre par les aiguilles;
- Des gants de protection offrant une résistance à la coupure par les tôles;
- Des gants anti-coupure plus efficaces pour le secteur des pâtes et papier;
- Des gants de protection offrant une plus grande dextérité tout en restant à un prix abordable, en particulier pour les secteurs de la construction et de l'automobile;
- Des gants de protection résistant à la coupure qui offrent aussi une bonne dextérité, en particulier pour le secteur de la construction;
- Des gants de protection contre le contact avec les surfaces chaudes offrant également une bonne dextérité, en particulier pour le secteur de la fabrication de machines;
- Des gants de protection résistant à la piqûre par les aiguilles qui offrent aussi une bonne dextérité, en particulier pour le secteur de la santé;
- Des gants de protection dont le rapport entre la dextérité et la protection contre les risques mécaniques est ajustable en fonction de la tâche effectuée;
- Une solution qui permet à la fois de protéger les mains contre les coupures sans générer de risques d'entraînement avec les outils rotatifs, en particulier pour le secteur de la construction;
- Des gants qui permettent de mieux limiter la transmission des vibrations des outils aux mains pour éviter les syndromes de Raynaud et du tunnel carpien, en particulier pour le secteur des mines et de l'usinage du métal;
- Des gants de protection antivibratile qui offrent également une bonne dextérité;
- Des matériaux pour concevoir des sièges qui limitent la transmission des vibrations globales du corps;

- Des chaussures qui réduisent l'inconfort des pieds et limitent les troubles musculosquelettiques lors d'une station debout prolongée ou en présence de vibrations ou de chocs;
- Des bottes qui limitent la transmission des vibrations;
- Des bottes offrant une meilleure protection contre les irrégularités du terrain, parfois immergé, dans les mines;
- Des bottes de travail moins rigides et qui ne gênent pas la performance de la cheville;
- Des bottes offrant un meilleur confort mécanique, avec entre autres une moins grande rigidité, une plus grande conformabilité et une meilleure tenue au talon;
- Des matériaux textiles pour le dessus et les plaques de protection du dessous pour les bottes qui soient efficaces contre les pics, les clous, les couteaux et les aiguilles médicales;
- Des outils textiles et des stratégies de suivi pour faciliter l'adoption de bonnes pratiques pour le levage des patients et le déplacement des charges lourdes, par exemple, dans le domaine de la santé;
- Des textiles pour le levage des charges qui soient plus résistants contre les arêtes vives et les produits chimiques, en particulier pour le domaine de la construction;
- Des harnais contre les chutes de hauteur moins rigides en conditions normales d'usage (en dehors des situations de chute);
- Des harnais contre les chutes de hauteur résistant à la coupure;
- Des systèmes permettant la sortie automatique des sangles anti-traumatisme en cas de chute.

Les besoins de type indicateur/actuateur/matériau correspondant à un **signal de sortie physique** incluent :

- Des textiles plus respirants pour un travail dans des conditions hautement humides ou réfrigérées dans le secteur de la transformation alimentaire;
- Des combinaisons de protection contre les isocyanates qui offrent une plus grande respirabilité;
- Des manteaux aluminisés contre les projections de métal liquide qui soient respirants;
- Des vêtements et des gants à protection chimique ou électrique élevée, qui offrent une plus grande respirabilité;
- Des vêtements de travail offrant une plus grande respirabilité lors d'activités intenses et de passage d'une zone froide à une zone chaude, par exemple, pour le domaine de la transformation alimentaire et des mines;
- Des gants antivibratiles qui offrent un bon niveau de respirabilité;
- Des vêtements de protection pour les mines avec un contrôle de l'humidité intérieure;
- Des masques respiratoires plus confortables et qui ne créent pas de buée sur les lunettes, en particulier pour le domaine de la construction;
- Des vêtements, gants et autres équipements de protection utilisés dans les mines qui se salissent moins rapidement;

- Des gants de travail qui se salissent moins rapidement dans le domaine de l'automobile et de la sécurité routière;
- Des draps qui facilitent le déplacement des patients alités sans être trop glissants et qui ne génèrent pas de risques de chute;
- Des revêtements moins glissants pour les sièges sur les lignes de production;
- Des bottes qui ne glissent pas sur la glace sèche et mouillée, sur la gravelle, sur la graisse, sur la céramique mouillée et sur l'acier inox;
- Des cagoules de pompiers imperméables à l'eau et aux autres liquides et qui respirent;
- Des textiles de décoration intérieure ou de revêtement de mobilier qui offrent des capacités de contrôle du bruit pour les bureaux à aire ouverte;
- Des survêtements de travail en coton qui ne rétrécissent pas au lavage, pour le domaine des fonderies.

Les besoins de type indicateur/actuateur/matériau correspondant à un **signal de sortie électrique** incluent :

- Des vêtements de travail pour les premiers répondants et les intervenants en sécurité routière qui offrent une protection contre une éventuelle décharge électrique lors du dépannage des véhicules électriques et hybrides;
- Une meilleure interactivité homme/machine dans les mines, en particulier pour l'arrêt des machines en cas de trop grande proximité avec un travailleur.

Les besoins de type indicateur/actuateur/matériau correspondant à un **signal de sortie de type énergie** incluent :

- Des fils conducteurs pour le transfert d'énergie, utilisables dans les procédés de mise en forme textiles;
- Un système de recharge de batteries autonome et portable pour les soldats.

Les besoins de type indicateur/actuateur/matériau correspondant à un **signal de sortie de type blindage** incluent :

- Des vêtements de protection contre les rayons X moins lourds pour le domaine de la santé;
- Un indicateur de la durée de vie de la protection diélectrique offerte par les bottes;
- Une protection contre les chocs électriques offerte pour d'autres parties du corps que les pieds et les mains.

4.2.3 Autres

Cette sous-section regroupe des problématiques et des besoins qui n'étaient pas couverts par les catégories précédentes et qui concernent, par exemple, des questions de design, de connaissances et de procédures. Les besoins sont :

- L'importance que les équipements de protection individuelle soient intégrés aux vêtements civils pour favoriser leur utilisation;
- Des uniformes et des vêtements de protection compatibles avec le port des gilets pare-balles;

- Un imperméable compatible avec les vêtements de protection contre les risques électriques;
- Une amélioration du design des bottes pour éviter que les produits chimiques ne pénètrent par l'ouverture du haut et par les coutures;
- L'adaptation des directives de la nouvelle norme sur la haute visibilité à certains secteurs spécifiques comme le milieu forestier.

Les problématiques sont :

- La méconnaissance par les pigistes, par exemple, dans le secteur de l'automobile et de la sécurité routière, des procédures et des produits relatifs à la SST;
- Une caractérisation très partielle des performances des matériaux de protection contre les produits chimiques.

4.3 Recensement des problématiques en SST liées à l'usage des textiles intelligents

Des problématiques existantes ou anticipées associées à l'usage des textiles intelligents en SST ont été identifiées dans la littérature, lors des discussions avec les chercheurs dans ce domaine, avec les conseillers en prévention d'associations sectorielles paritaires et professionnelles, avec les représentants d'entreprises manufacturières ou utilisatrices d'équipements de protection et avec les personnes-ressources de l'agence Recherche et développement pour la défense Canada ainsi que lors de la séance de réflexion avec les membres de l'équipe de recherche. Ces problématiques ont été regroupées en plusieurs catégories et sont listées ci-dessous.

4.3.1 Manque de maturité des technologies

Un premier problème soulevé est le manque de maturité des différentes technologies liées aux textiles intelligents et les difficultés qui en découlent. Par exemple, les systèmes actuels de mesure des signes vitaux présentent des faiblesses sur le plan de la durabilité (transpiration, lavage, usure, etc.) et manquent de robustesse. En particulier, une perte graduelle du confort des systèmes de suivi du rythme cardiaque et de la respiration dans les vêtements de sport actuels, consécutive aux lavages, a été rapportée.

De manière générale, les capteurs textiles montrent une faible résistance au lavage et manquent de fiabilité, de répétabilité et de précision. Des travaux ont d'ailleurs déterminé les modes de rupture des fils conducteurs faits de filaments polymériques recouverts de métal, à la suite de sollicitations mécaniques subies pendant la fabrication et l'utilisation (De Kok, de Vries, Pacheco, et van Heck, 2015). La crainte de faux positifs avec les capteurs de signes physiologiques a également été mentionnée.

Finalement, il a été rapporté que les systèmes actuels sont très énergivores. Or, les systèmes de captation d'énergie sont encore très loin d'être offerts sur le marché : les systèmes piézorésistifs sont les plus avancés, mais présentent des difficultés d'ajustement à la morphologie individuelle; pour les systèmes photovoltaïques, les difficultés principales résident dans le manque de flexibilité et de durabilité. La signature thermique est également un handicap pour les applications militaires.

4.3.2 Effets négatifs potentiels sur la santé et la sécurité

Des craintes ont été soulevées tant pour la fabrication que pour l'utilisation des textiles intelligents. En ce qui concerne la fabrication, les effets sur la santé des poussières de toutes tailles, y compris les nanoparticules, entrant dans la composition des textiles intelligents ou générées lors de la manipulation, constituent une préoccupation pour les manufacturiers et les transformateurs.

Au regard des utilisateurs, la présence de nanoparticules pour les traitements antibactériens ou de métaux pour la conduction électrique, par exemple, peuvent être des sources d'inquiétudes, surtout si le textile intelligent est en contact direct avec la peau. Ces matériaux peuvent éventuellement être la cause de réactions allergiques ou présenter un caractère intrusif.

Un autre effet potentiel négatif sur la santé des utilisateurs est lié à la génération de champs électromagnétiques, auxquels certaines personnes présentent une hypersensibilité. Par ailleurs, aucune information n'est actuellement disponible sur les limites d'intensité de champ magnétique pour la santé humaine. Aucune réglementation n'établit non plus les niveaux maximums permis.

La sécurité des utilisateurs peut également être compromise en raison du courant qui alimente certains textiles intelligents. Par exemple, le contact accidentel entre la peau et un fil conducteur non isolé peut être une source d'inconfort ou de blessure.

Un autre risque potentiel soulevé en relation avec les textiles intelligents concerne le risque de ne pas pouvoir activer les dispositifs d'arrêt d'urgence en cas de mauvais fonctionnement ou de défectuosité de gants intelligents. Il a été mentionné que les gants antivibratiles actifs pourraient éventuellement amplifier la transmission d'autres fréquences que celles ciblées.

Un dernier aspect concerne la sécurité des informations. Actuellement, la question de la gestion des données recueillies semble entourée d'un grand flou. Or, ces informations, qu'elles soient de nature médicale (ex., avec un suivi des signes vitaux pris lors d'un entraînement sportif), ou concernent la géolocalisation, relèvent des renseignements personnels dont la confidentialité doit être assurée et qui, à ce titre, doivent bénéficier d'un traitement approprié. Des réponses claires et précises doivent donc être fournies sur qui a accès à ces données, qui en est le propriétaire, quel niveau de confidentialité leur est attribué, qui les utilise et à quelles fins. Ce débat, qui porte sur des questions d'éthique, doit se poursuivre.

4.3.3 Problèmes potentiels d'interférence ou d'incompatibilité

Un premier point soulevé dans ce domaine concerne l'incompatibilité entre les exigences de protection contre l'arc électrique requise, par exemple, dans le domaine de l'énergie et la présence de conducteur électrique utilisé dans les dispositifs de localisation ou pour les textiles chauffants. Le même problème a aussi été soulevé pour les composants métalliques dans le cas des bottes offrant une protection diélectrique.

Un deuxième aspect porte sur les risques d'interférence des systèmes électroniques intégrés dans les vêtements et accessoires de protection avec les systèmes de communication et/ou d'autres systèmes électroniques comme les stimulateurs cardiaques.

Les conditions environnementales internes ou externes, par exemple, la présence de sueur abondante ou la pluie, peuvent éventuellement aussi interférer avec le bon fonctionnement des dispositifs électroniques textiles. Des telles situations peuvent être la cause d'un mauvais fonctionnement des textiles intelligents ou générer des risques de choc électrique, par exemple.

4.3.4 Manque de connaissances, de normes et de méthodes d'essai

Une autre problématique est liée au manque actuel de connaissances, de méthodes d'essais et de normes. En effet, comme c'est très souvent le cas avec les nouvelles technologies présentant un fort potentiel de retombées commerciales, de larges efforts sont déployés par l'industrie, associés à des investissements majeurs, pour une mise sur le marché la plus rapide possible afin de devancer les concurrents. La recherche plus fondamentale, qui ne bénéficie pas de tels moyens financiers, est généralement en retard.

Les besoins sur le plan de l'avancement des connaissances concernent autant la compréhension du fonctionnement des nouveaux produits que la sécurité offerte et le comportement à long terme, par exemple. Dans le cas particulier des batteries, l'industrie a actuellement très peu de recul sur leur utilisation et ne dispose pas de données sur l'effet du vieillissement sur leurs performances et sur leur sécurité. Un point important aussi est l'élaboration de stratégies pour la gestion de la mauvaise utilisation de ces dispositifs, qui manquent encore à l'heure actuelle.

L'absence de méthodes d'essai normalisées et d'un cadre réglementaire peut éventuellement générer des risques pour l'utilisateur, par exemple, en cas de produits défectueux. En effet, aucun contrôle de la qualité digne de ce nom n'est possible dans ces conditions. L'utilisateur ne peut donc avoir aucune assurance sur la fiabilité et la durabilité de son produit et ne dispose d'aucune base sur laquelle appuyer sa confiance que le produit qu'il détient répond à son besoin et offre les performances annoncées.

4.3.5 Difficultés d'accessibilité

Deux causes au manque actuel d'accessibilité des textiles intelligents ont été mentionnées. Tout d'abord, le coût des matériaux lui-même, qui peut être prohibitif. Par exemple, le prix trop élevé des matériaux absorbants de chocs de type non newtonien limite encore leur application dans les bottes. D'autres exemples incluent aussi les nanotubes de carbone et le graphène.

Par ailleurs, l'accès aux accessoires permettant à ces textiles intelligents d'être utilisés est également limité par une question de coût. Par exemple, l'installation de portiques de lecture des puces pour le suivi de l'utilisation des harnais de sécurité n'est pas envisageable pour de petites entreprises à cause de leur coût élevé.

4.3.6 Difficultés liées à l'utilisation et à l'entretien

Un autre type de difficultés associées aux textiles intelligents concerne leur utilisation et leur entretien. Par exemple, l'alimentation électrique par batterie est associée à un poids additionnel, et vient augmenter l'encombrement et limiter le confort. La gestion de la charge de ces batteries ajoute également des difficultés, d'autant que les systèmes actuels sont très énergivores. Dans un contexte d'utilisation fréquente, il est important de bien prendre en compte le temps de

charge et la durée d'utilisation. Dans une perspective d'application en milieu de travail, la question de la responsabilité se pose aussi : qui gère la charge, l'entreposage et l'entretien et qui effectue, par exemple, le suivi de l'usure des produits?

L'entretien des textiles intelligents est également un large défi, en particulier pour des applications dans les vêtements. En effet, le textile intelligent doit pouvoir résister à des lavages fréquents. Dans le cas où certains éléments ne supportent pas le lavage, ils doivent pouvoir être facilement déconnectés et reconnectés ou retirés. En plus de l'endommagement associé au nettoyage et lié à la présence d'eau, de chaleur et de contraintes mécaniques, le textile intelligent doit également résister à l'usure due à l'utilisation. Il peut aussi être soumis à des conditions plus sévères, par exemple, à une humidité élevée pour un vêtement de pluie ou à des températures plus chaudes pour un vêtement de pompier.

Finalement, un aspect à considérer au regard des conditions d'utilisation est la question des contrôles de sécurité, par exemple, pour l'entrée dans des bâtiments sécurisés, pour le passage à la douane ou les déplacements par avion. Avec les tensions géopolitiques observées actuellement, de tels dispositifs risquent de causer des problèmes à leurs utilisateurs. La question de la confidentialité des données peut se poser de la même façon qu'elle a récemment été soulevée avec les téléphones intelligents.

4.3.7 Intérêt du dispositif

Si l'aspect gadget a séduit plusieurs utilisateurs actuels de textiles intelligents, en particulier dans le domaine de l'entraînement sportif personnel, la question se pose parfois sur l'utilité réelle de ces dispositifs. En particulier, pour des applications autres que les loisirs, par exemple en milieu de travail, il est important que les gains générés par le textile intelligent compensent le surcoût potentiel lié à son utilisation. L'efficacité du système intelligent et les avantages qu'il apporte, de manière directe ou indirecte, doivent donc faire l'objet d'une évaluation rigoureuse et objective pour faire la preuve de son intérêt.

Cette analyse doit inclure des experts dans les différents domaines pertinents à l'application du textile intelligent. En particulier, dans certains cas, même si la fonction offerte par le textile intelligent paraît attrayante au premier abord, elle peut mener à des effets négatifs à plus long terme. Par exemple, le caractère contre-productif des dispositifs de contrôle de la posture, à l'exception des cas très spécifiques de réadaptation au travail, a été soulevé. En effet, ils empêchent l'autorégulation de la posture, qui est un phénomène naturel permettant d'éviter les blessures.

4.3.8 Gestion des déchets et de la fin de vie

Une dernière problématique associée aux textiles intelligents concerne leur fin de vie. Une difficulté pour la gestion des déchets de textiles intelligents est qu'ils sont généralement constitués d'un assemblage de plusieurs matériaux différents, pour lesquels l'industrie a plus ou moins d'expertise en raison de leur nouveauté comme les polymères conducteurs ou les nanomatériaux. La question se pose autant pour les déchets produits lors de la fabrication que pour la fin de vie des produits. Les possibilités en matière de recyclage sont également à déterminer. Dans certains cas, des matériaux seront récupérés en raison de leur valeur élevée,

par exemple, les métaux de types terres rares utilisés dans les composants électroniques. Dans d'autres cas, des questions environnementales pourront être un enjeu.

Sur le plan de la gestion de la fin de vie, une autre question se pose à l'égard de la méthode la plus appropriée pour la destruction des produits. En effet, certains pays incinèrent une partie de leurs déchets ménagers pour réduire l'enfouissement. Étant donné la présence de nouveaux types de matériaux, comme les nanoparticules ou les composants électroniques, dans les textiles intelligents, il est important de s'assurer que le type de traitement des déchets ne constitue pas une source de danger pour la santé et l'environnement.

4.4 Recoupement des informations recueillies

La cueillette d'information qui a été menée auprès des différents organismes regroupant des chercheurs, des associations sectorielles et professionnelles, des manufacturiers, mais aussi des utilisateurs a permis de mettre en lumière un certain nombre de problématiques liées aux textiles traditionnels auxquelles les travailleurs font face. Par ailleurs, le recensement des technologies textiles intelligentes existantes, commercialisées et/ou en développement a permis de déterminer des pistes potentielles de solutions.

Un recoupement des problématiques et des solutions apportées par les textiles intelligents est présenté ci-dessous. Quant à la sous-section 4.4.2, elle est consacrée aux recommandations qui sont émises à l'égard des axes de développement proposés.

4.4.1 Recoupement entre les problématiques en SST liées aux textiles traditionnels et les solutions proposées

La présentation des résultats de ce recoupement entre les données recueillies auprès des personnes interrogées quant aux problématiques rencontrées et le recensement des technologies textiles intelligentes emploie le même système de classification utilisé dans la compilation des informations correspondantes. Deux sous-sections traitent séparément des capteurs et des actuateurs/indicateurs. Chacune d'elle est ensuite subdivisée en sous-catégories : thermique, mécanique, chimique, électrique et environnement physique pour les capteurs et thermique, chimique/biologique, optique, mécanique, physique, électrique, énergie et blindage pour les actuateurs/indicateurs.

4.4.1.1 Capteurs

Les besoins de type **capteur thermique** sont essentiellement liés aux risques de surchauffe et plus spécifiquement à l'absence d'outils permettant de surveiller la température corporelle et éventuellement d'alerter le travailleur sur son état. Les exemples de solutions suivants ont été cités :

- Des textiles qui changent de couleur en fonction de la température corporelle (Tuxboard, 2014);
- Des capteurs de température flexibles sous forme de films qui peuvent être intégrés dans des vêtements (www.pstsensors.com);
- Des étiquettes électroniques imprimées, de petites dimensions qui captent la température (<http://thinfilm.no>);
- Des tee-shirts intégrant des capteurs de température (Krishnamurthy, 2013).

Les besoins de type **capteur mécanique** sont principalement associés à l'adoption de mauvaises postures, à l'absence de détection des mouvements, à la difficulté d'estimer la pression manuelle et/ou corporelle appliquée ainsi qu'au manque d'indication sur l'état des équipements de protection individuelle, notamment les sangles et les harnais. Les exemples de solutions suivants ont été évoqués :

- Détection des mouvements du travailleur, de ses collègues géographiquement proches ou encore de patients agités pour le corps professionnel médical.
 - Vêtements équipés de capteurs mesurant la déformation et pouvant extrapoler les mouvements (BodiTrak, 2013; Brock, 2015; Cahill, 2014; Heddoko, 2017; Hofmann, 2013);
 - Capteurs qui surveillent et enregistrent les mouvements (et leur intensité) de l'enfant et transmettent les données sur une application (téléphone) du parent (Björklund, 2016);
 - Capteurs intégrés dans une chaussure pour mesurer l'impact et les déplacements du porteur (Xsens, 2014);
- Détection de la pression appliquée sur les patients ou les thérapeutes.
 - Textiles sensibles à la pression (Avloni, 2011b; Bajorat, 2013; Sensing Tex, 2017);
 - Capteur textile qui mesure la pression exercée par des bas de contention (Dalsgaard, 2013a);
 - Tapis de détection de pression qui peut être placé sur n'importe quel lit existant pour prévenir les plaies de lit (Baxter, 2013);
- Détection et éventuellement correction de la posture pour les travailleurs qui adoptent une même posture de façon prolongée.
 - Harnais électronique intelligent pour aider les travailleurs à soulever des objets lourds afin d'éviter les blessures (Weigelt, 2015);
 - Corset de redressement pour personnes atteintes de scoliose avec capteurs textiles intégrés augmentant le confort et l'efficacité (Dalsgaard, 2015b);
 - Appareil de prévention des troubles musculosquelettiques, qui déclenche une alerte en cas de postures/mouvements à haut risque (www.kinesixsports.com);
- Détection des chutes de hauteur et indicateurs de l'état mécanique des équipements de protection individuelle comme les harnais, par exemple.
 - Aucun capteur ou textile fonctionnel n'a été identifié pour répondre à cette problématique pour le moment.

Les besoins de type **capteur chimique** sont surtout attribuables à l'absence d'indication sur la présence de produits chimiques dangereux (gaz, solides, etc.) et la possible exposition du travailleur à ces contaminants. Parmi les exemples de solutions, on trouve :

- Gant fait de matériaux sensibles qui changent de couleur en présence de substances toxiques (Trupp, 2013);
- Textile qui change de couleur en présence d'un taux élevé de CO₂ (Bowker, 2014);
- Détecteur de composants chimiques volatils avec un voile de nanofibres comprenant des particules conductrices (www.rti.org).

Les besoins de type **capteur électrique** sont majoritairement liés à l'absence d'indication quant aux signes vitaux (respiration, rythme cardiaque, etc.) des travailleurs, particulièrement lorsqu'ils sont isolés. Les exemples de solutions suivants ont été fournis :

- Tee-shirt et/ou vêtements intégrant des capteurs de signes vitaux (Blake, 2013; Duncan, s.d; Gagnon, 2015; Hofmann, 2013; Leftly, 2013; www.cityzensciences.com; Omsignal, 2016; Woik, 2014; www.csem.ch; www.sensoriafitness.com);
- Capteurs textiles permettant d'obtenir un suivi des signes vitaux (Meiler, 2015; Agmon, 2016; Chang, 2015; Gendelman, 2011);
- Accessoires non textiles pouvant mesurer les signes vitaux (BioSpectrum Bureau, 2012; Innovations in Textiles, 2015; www.empa.ch; www.salu.ca; www.shopjoule.com).

Les besoins de type **capteur physique** sont essentiellement dus au manque d'information sur la localisation des travailleurs isolés, à la difficulté de contrôler les personnes et les objets environnant le travailleur, à l'absence de système de prévention du bruit et des rayons X pour les travailleurs du secteur médical. Les exemples de solutions suivants ont été mentionnés :

- Géolocalisation des travailleurs isolés :
 - Localisation GPS par un appareil portatif miniaturisé pouvant être porté par une personne ou qui équipe un véhicule ou un bien (www.laipac.com);
 - Veste de pompier intégrant des capteurs de localisation et de données, ainsi que des caméras infrarouges. La transmission de données sur de longues distances est optimisée (Schönauer, Vonach, Gerstweiler et Kaufmann, 2013);
- Gestion de l'espace autour du travailleur :
 - Veste de pompier intégrant des capteurs pour communiquer les uns avec les autres (Siegl, 2012);
 - Système de détection de proximité installé dans les casques des travailleurs miniers qui permet de les avertir de la proximité d'un danger (www.jannatec.com);
 - Accessoire non textile de détection d'obstacles pour personnes non voyantes (www.imerciv.com);
- Prévention de l'exposition aux rayons X :
 - Aucun capteur ou textile fonctionnel n'a été identifié pour répondre à cette problématique pour le moment;
- Prévention du bruit :
 - Aucun capteur ou textile fonctionnel n'a été identifié pour répondre à cette problématique pour le moment.

4.4.1.2 Actuateurs/Indicateurs

Les besoins de type **indicateur/actuateur thermique** sont principalement dus aux risques de surchauffe, aux travaux en environnement extrême (mines, grands froids, etc.), qui peuvent éventuellement contribuer au développement de certaines pathologies. Les exemples de solutions suivants ont été formulés :

- Thermorégulation (chaud et froid) :

- De nombreuses études traitent du sujet et proposent diverses solutions (ex. : Lu *et al.*, 2017; Roh et Kim, 2015; Wang *et al.*, 2006);
- Technologie utilisant des matériaux à changement de phase (Outlast Technologies, 2014; Skallerud, 2012; Fendt, 2011);
- Technologie avec fil à mémoire de forme (Young, 2014; Michalak et Krucińska, 2015);
- Système chauffant :
 - Fil qui absorbe le rayonnement infrarouge proche et génère de la chaleur (Filspec, 2017; Altimari, 2016);
 - Textiles chauffants à l'aide de fibres ou fils conducteurs (Solenio Textiles, 2017; Doganay *et al.*, 2016; Suh *et al.*, 2013; Poboroniuc *et al.*, 2014; Opwis *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2016);
 - Masque chauffant et humidifiant l'air (CozyWinters, 2017; <http://meledii.com>);
 - Vêtements et équipements chauffants (www.gerbing.eu/fr; Pressley, 2012; IFAI, septembre 2017);
- Système refroidissant :
 - Des gilets pare-balles avec circulation d'eau ou mini-ventilateur (Med-Eng, 2017; Nideröst, 2012);
 - Des vêtements de protection chimique et combinaison de travail pour mineurs avec système de refroidissement (Philips, 2015; www.jannatec.com).

Les besoins de type **indicateur/actuateur mécanique** sont essentiellement associés à l'adoption de mauvaises postures, à l'absence de détection des mouvements, au manque de dextérité, à la difficulté à déplacer des charges, ainsi qu'aux complications à combiner protection avec un bon niveau de sensibilité. Les exemples de solutions suivants ont été fournis :

- Assistance à la posture, au levage de charges :
 - Système d'augmentation de l'humain (www.mawashi.net);
 - Textile à mémoire de forme (Ashir *et al.*, 2016; Sharafi et Li, 2016);
 - Matériau dont la forme varie pour s'adapter aux pressions appliquées (Morris, 2013);
 - Dispositif de stimulation des muscles par vibration (Leftly, 2015);
- Protection (piqûre, coupure, blessures, bruit, etc.) :
 - Support pour cheville (Reebok, 2016);
 - Oreillette bionique sur mesure pour contrôle du bruit (Voix, 2017);
 - Tissu qui devient plus rigide à l'impact (Mallen, 2011).

Les besoins d'**indicateurs/actuateurs chimiques** concernent surtout la protection contre les agents biologiques ou chimiques, mais également le problème des ÉPI qui se salissent trop vite. Les exemples de solutions suivants ont été mentionnés :

- Fils multifonctionnels antimicrobiens par combinaison de fibres (www.filspec.com);
- Textiles avec revêtement antimicrobien (Under Armour, 2017; Feng *et al.*, 2016; Mura *et al.*, 2015; Zafar *et al.*, 2014; Berendjchi *et al.*, 2015);

- Tissus de fibres de carbone activé pour épurer l'air (Bivolarova *et al.*, 2016);
- Système de microbes actifs pour éliminer les odeurs (<http://cleansportnxt.com>);
- Textiles diffuseurs de principes actifs (Hollingsworth, 2011; Knowles, 2013; Signer, 2011; www.schoeller-textiles.com).

Les besoins de type **indicateur/actuateur électrique** concernent principalement la protection contre les chocs électriques, mais également la communication entre les individus et les équipements. Les exemples de solutions suivants ont été identifiés :

- Fibres antistatiques (Bekaert, 2015; IFAI, octobre 2016);
- Ceinture électrique pour traiter les douleurs dorsales (Haberlandt, 2015);
- Stimulation musculaire électrique (Meikle, 2013; Schwarz, 2015);
- Défibrillateur portable (Egan, 2011).

Les besoins d'**indicateurs/actuateurs fournissant un signal de sortie physique** sont surtout liés au manque de respirabilité, aux produits glissants et aux vêtements de protection trop lourds. Les exemples de solutions suivants ont été retenus :

- Traitement de surface superhydrophobe et superoléophobe à base de nanopiliers et de nanoparticules (Mazumder *et al.*, 2014);
- Ouverture de micropores sous l'action de l'humidité et de la température (Craddock et Akhtar, 2015);
- Textile à mouillabilité thermosensible (Wu *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2015);
- Textiles autonettoyants (Lu *et al.*, 2017; Mura *et al.*, 2015).

Les besoins liés aux **indicateurs/actuateurs optiques** sont principalement attribuables au manque de visibilité, mais aussi à des marchés de niche comme la protection optique contre les arcs électriques ou les travaux avec forte intensité lumineuse. Les exemples de solutions suivants ont été identifiés :

- Textile électrochrome (Hansen *et al.*, 2016; G. Huang *et al.*, 2016; www.argilinc.com);
- Textile électroluminescent (Ahmed, Wei, Torah et Tudor, 2016; De Vos *et al.*, 2016; <https://gqisolutions.com/>; www.gsitech.com);
- Textile thermochrome (Ahmed, Wei, Torah et Tudor, 2016; Tuxboard, 2014);
- Bracelet textile lumineux (Chrysostom et Kasper, 2013; www.interactive-wear.de);
- Insertion de diodes électroluminescentes (DEL) dans un textile (Kisliuk et Jacobsen, 2015; Vaillancourt, 2012; Zimmermann, 2015);
- Changement de couleur par exposition aux substances toxiques ou émises par les aliments périmés (Kilshaw, 2013; Trupp, 2013);
- Indicateur de taux de CO₂ (Bowker, 2014);
- Écrans flexibles et enroulables (www.flexenable.com; www.flexterracorp.com).

Les besoins liés aux **indicateurs/actuateurs de type blindage** concernent surtout la protection contre les ondes électromagnétiques, mais aussi les rayonnements (X ou gamma). Les exemples de solutions suivants ont été retenus :

- Blindage électromagnétique (Bekaert, 2015; Rubežienė *et al.*, 2015; Šafářová et Militký, 2014);
- Blindage rayons gamma et neutrons (Sayyed, 2016);
- Blindage UV (Babaahmadi et Montazer, 2016).

Une autre opportunité liée aux textiles intelligents, qui constitue également une problématique pour les dispositifs qui fonctionnent avec un apport d'énergie extérieur, est la **génération, le transfert et le stockage d'énergie**. Bien que le besoin n'a que peu été mentionné, probablement dû au fait que les textiles intelligents sont encore trop peu présents, beaucoup de travaux de recherche et de développement sont réalisés dans ce domaine. En voici quelques exemples :

- Films photovoltaïques (Tilander et Touhey, 2015; Trichur, 2011; www.altadevices.com; www.eight19.com; www.oe-technologies.com);
- Films piézoélectriques (Kemball-Cook, 2014; www.piezoskin.com; www.piezotech.eu);
- Piles rechargeables flexibles (Qu *et al.*, 2015; www.enfucell.com);
- Transmission de puissance sans fil (Jeong *et al.*, 2016).

4.4.2 Proposition de pistes de recherche et de développement sur les textiles intelligents pour application en SST

Durant cette étude, de nombreuses problématiques en SST ont été soulevées alors qu'elles peuvent être résolues grâce aux textiles et aux matériaux souples intelligents. Certaines de ces solutions sont déjà commercialisées pour des applications en SST tandis que d'autres sont utilisées dans d'autres domaines et doivent être adaptées. Enfin, certaines problématiques doivent être explorées plus en profondeur, la solution étant encore non viable, voire inexistante.

Dans cette sous-section, une série de propositions de pistes de recherche et de développement a été faite sur la base des liens mis en évidence entre les besoins en SST liés aux limites des textiles traditionnels et les solutions offertes par les textiles intelligents. Pour chaque problématique, les solutions se déclinent à court, moyen et long termes.

4.4.2.1 Capteurs

Le suivi des signes vitaux est l'une des problématiques auxquelles font face les travailleurs, quel que soit le domaine. De nombreuses solutions plus ou moins performantes sont déjà commercialisées notamment dans les domaines sportif et médical. Cependant, c'est sur le plan de l'intégration et des cycles d'utilisation que des efforts doivent être investis afin d'assurer une utilisation quotidienne sans inconfort :

- À court terme, on retrouve une multitude de produits commerciaux qui peuvent être utilisés plus ou moins directement. En effet, le secteur des sports et loisirs est celui pour lequel le plus de produits textiles intelligents sont commercialisés. Des articles de sport (<https://www.hexoskin.com/>; OMsignal, 2017) aux accessoires pour le transport (Hagmann, 2013; Leonhardt, 2011) en passant par des applications spécialisées comme la protection des pompiers (Blake, 2013), les solutions existent. Dans la plupart des cas, il ne restera plus qu'à les utiliser tels quels ou en les intégrant dans le vêtement adapté à l'activité professionnelle;

- À moyen terme, des produits captant des informations plus poussées comme le niveau de stress pourraient être adaptés/adoptés (Craddock et Akhtar, 2015). De nombreuses études portent aussi sur le développement de capteurs multifonctions, qui combinent signes vitaux et température (Nag et Sharma, 2006), ou avancés avec l'électromyographie (Paiva *et al.*, 2015);
- À long terme, l'élément à améliorer est l'intégration dans la vie professionnelle quotidienne. Ces textiles devant être portés près du corps, il faut que l'utilisation soit simple (lavages, mouvement) et que le coût soit non prohibitif. L'analyse de données (génie logiciel) devra également évoluer en parallèle afin de rendre les données collectées (et donc la technologie) utiles.

La mesure de la température est un besoin critique pour alerter l'utilisateur lorsque sa température corporelle est excessive, en attendant que des systèmes thermorégulants performants puissent prendre le relais pour maintenir constamment des conditions sécuritaires :

- À court terme, on retrouve plusieurs articles commerciaux utilisables ou presque comme le tee-shirt de sport changeant de couleur (Tuxboard, 2014) ou intégrant des capteurs de température (Krishnamurthy, 2013). Ils peuvent au besoin être adaptés aux contraintes de l'activité (ex., résistance au feu). Le vêtement peut servir d'indicateur quand l'activité devient trop intense ou lorsqu'il y a un risque de coup de chaleur;
- À moyen terme, les textiles de détection thermique peuvent devenir plus faciles d'entretien et inclure un composant actif pour la thermorégulation (Codau, Onofrei, Bedek, Dupont et Cochrane, 2015; McGreevy *et al.*, 2014). Par exemple, une étude est en cours sur la relation entre échange thermique et géométrie afin de rendre les échanges thermiques les plus efficaces possible (Gidik, Bedek, Dupont et Codau, 2015);
- À long terme, les systèmes devront être complètement intégrés au vêtement, inclure une alerte signalant la nécessité de prendre une pause, mais aussi un mécanisme réagissant avec le déclenchement automatique du dispositif de refroidissement.

La détection de contaminants est un défi pour de nombreux secteurs. Que ce soit des produits chimiques, des gaz, des particules, des fluides corporels, ou même des drogues, la liste des contaminants est d'autant plus longue que le nombre de secteurs d'applications est grand :

- À court terme, plusieurs produits sont accessibles, mais avec des applications encore très ciblées comme des gants changeant de couleur au contact de substances spécifiques (Trupp, 2013) ou un textile capteur de présence élevée de CO₂ (Bowker, 2014);
- À moyen terme, les textiles pourraient filtrer en plus de détecter la présence de contaminants, par exemple, une écharpe qui filtre l'air (Scough, 2017). De nombreux développements sont en cours, avec, par exemple, des capteurs textiles de pH (Caldara *et al.*, 2012), de gaz (Yun *et al.*, 2016), de composés organiques volatils (Han, 2012) et de solvants (Kinkeldei *et al.*, 2012);
- À long terme, l'objectif sera de développer des textiles permettant de détecter de multiples contaminants et de quantifier l'importance de l'exposition, sans altérer les autres fonctions de ces articles textiles. Ces capteurs pourraient, par exemple, être appliqués en apprêt, en fonction des protections souhaitées.

La géolocalisation et la gestion de l'environnement physique, comme les objets en mouvement et les obstacles, sont des problématiques auxquelles font également face les travailleurs dans de nombreux domaines de travail. Que ce soit pour des utilisateurs en milieu isolé ou dans un environnement en mouvement (ex. : foreuses dans les mines, véhicule sur des stationnements), il est souhaité de pouvoir capter de l'information sur le positionnement et ainsi prévenir de potentielles situations à risque :

- À court terme, on retrouve des gants munis de capteurs de force qui vont collecter de l'information sur le terrain (www.cyberglovesystems.com). Plusieurs produits GPS sont également sur le marché (Jutila *et al.*, 2014; www.cityzensciences.com);
- À moyen terme, les capteurs de position, de mouvement et de distance pourraient être intégrés dans les vêtements, par exemple, en adaptant des technologies actuellement utilisées dans les montres ou les bracelets (<https://www.polar.com/ca-en>) ou sous forme d'étiquettes imprimées (<http://thinfilm.no>). Des progrès devraient également être observés dans les détecteurs d'obstacles par ultrason (Bahadir *et al.*, 2012) ou la gestion de foule (Angela *et al.*, 2014);
- À long terme, les informations collectées serviront à créer des bases de données dont l'analyse en temps réel permettra de protéger les utilisateurs en signalant à l'avance l'existence d'une situation potentielle de danger. Les textiles intelligents pourront aussi servir à créer des procédures et mettre en place des systèmes réduisant les risques (ex. : couloirs de sécurité, zones d'évitement, positionnement préférentiel).

L'apparition de situations potentiellement dangereuses est également un élément que les textiles intelligents pourraient être amenés à détecter. Ainsi, le capteur aurait un rôle de prévention. De nombreuses situations possibles ont été identifiées : niveau sonore intense, risque de chute, mouvements brusques (de patients violents, par exemple), etc. Le confort de l'utilisateur est également un sujet important qui est lié à ces situations à risque :

- À court terme, de nombreux capteurs mécaniques (pression, déformation, impact, etc.), souples ou non, existent. Certains sont déjà intégrés dans des textiles (www.sensoriafitness.com) ou des membranes (<http://eeonyx.com>) et de nombreux produits sont sur le marché dans le domaine du sport (Heddoko, 2017; Nike Europe, 2012; Lumo Bodytech, 2016). Ces produits et technologies pourraient aider les travailleurs à trouver des positions et des mouvements sécuritaires pour certaines tâches précises. Des semelles intelligentes sont également disponibles pour commander des équipements (Raynal, 2016) ou surveiller la posture (<http://meledii.com>). Enfin, Smart Body Armour propose un capteur pour vérifier l'intégrité structurelle du vêtement (Edwards, 2014);
- À moyen terme, des technologies comme les capteurs haptiques (Heubel, Steger et Bakircioglu, 2010) ou les capteurs de déformation (IFAI, novembre 2016) pourraient être intégrées dans les vêtements et améliorer la protection offerte;
- À long terme, le développement se fera sous la forme de textiles pouvant interagir avec les services, les dispositifs et l'environnement selon le désir de l'utilisateur (pression, mouvements prédéterminés, sons, etc.), mais également en réaction à l'état de l'environnement et au positionnement. Le projet Jacquard (Goret, 2016) en est un parfait exemple. Les textiles se devront d'être les plus intégrés possibles à l'environnement sans que l'utilisateur puisse ressentir la moindre gêne dans ses activités habituelles.

4.4.2.2 Actuateurs/indicateurs

L'une des problématiques les plus souvent soulevées durant l'étude est le contrôle de la température corporelle. Bien que la thermorégulation soit un sujet ayant déjà fait l'objet de nombreuses études, il reste beaucoup de travail à réaliser sur le plan du confort et notamment de la facilité d'utilisation. En effet, les travailleurs sont fréquemment soumis à de nombreux changements d'environnement et l'équipement se révèle trop souvent lent et compliqué à utiliser :

- À court terme, on trouve des technologies et produits déjà existants avec apport énergétique externe, qui pourraient être utilisés ou facilement adaptés à la SST comme les semelles chauffantes (Digitsole, 2015; Soleno Textiles, 2017). Des produits commerciaux refroidissants destinés aux travailleurs existent déjà, comme un vêtement de protection chimique (Philips, 2015), une combinaison de travail pour les travailleurs de la mine (www.jannatec.com) ou une veste militaire (Med-Eng, 2017);
- À moyen terme, on peut imaginer l'intégration de technologies autonomes, par exemple, avec des fils chauffants qui absorbent le rayonnement dans le proche infrarouge (Invista, 2017) ou des textiles refroidissants au contact de la sueur ou de l'humidité (Beringer, 2013);
- À long terme, la question critique sera la réactivité du confort thermique afin de faciliter les transitions entre les différentes conditions. Il faudra également s'assurer que le confort thermique ne nuit pas à la dextérité et à la mobilité de l'utilisateur. L'utilisation de matériaux à mémoire de forme et à changement de phase est en pleine expansion, mais nécessite encore de la recherche avant d'être applicable.

Un autre point important est la protection contre les agents biologiques et chimiques. Il existe de nombreux produits, mais leur intégration sous forme de textiles intelligents et dans le domaine de la SST reste très limitée :

- À court terme, certains traitements antimicrobiens (Under Armour, 2017) et antiodeurs (<http://cleansportnxt.com>) utilisés dans les vêtements de sport pourraient facilement être applicables au domaine de la SST;
- À moyen terme, des technologies telles que les nanogels d'argent (Zafar *et al.*, 2014) et le carbone activé (Bivolarova *et al.*, 2016) pourraient être intégrées dans les textiles de protection. Des fils multifonctionnels voient également le jour afin d'éliminer plusieurs menaces simultanément (www.filspec.com);
- À long terme, les textiles intelligents devront intégrer des systèmes captant la présence des agents non souhaités et s'activant en conséquence pour les éliminer. Ces textiles devront conserver leurs propriétés même après lavage.

Les chutes ou les blessures dues à un environnement accidenté sont également une grande source d'accidents. Le levage de charges est également une activité à risque. Plusieurs solutions existent, mais nécessitent des améliorations :

- À court terme, une technologie comme l'exosquelette gonflable pour la cheville de Reebok (Reebok, 2016) pourrait être adaptée dans des chaussures de sécurité pour un meilleur maintien. On peut également imaginer les solutions de type exosquelette pour la distribution de la charge (www.mawashi.net/fr) bien que les coûts soient actuellement

prohibitifs. Le tissu devenant rigide à l'impact (Mallen, 2011) serait également un produit facilement transférable;

- À moyen terme, les recherches sur l'électrostimulation devraient donner des résultats permettant d'assister un utilisateur dans ses tâches (Leftly, 2015). Les textiles à mémoire de forme (Ashir *et al.*, 2016; Sharafi et Li, 2016) pourraient également être des avenues intéressantes pour faciliter certaines activités ;
- À long terme, les textiles intelligents pourront stimuler par vibration ou par pression afin de changer de forme ou se rigidifier pour protéger ou supporter l'utilisateur. Les textiles magnétiques pourraient également être mis à profit pour permettre des changements de forme (Smith, 2015).

Bien que la problématique soit peu usuelle pour le moment en SST, l'utilisation de nombreux capteurs et principes actifs nécessitera le recours à des sources d'énergie portables. Dans ce contexte, les textiles intelligents peuvent être mis à profit pour le transfert, le stockage et même la génération d'énergie :

- À court terme, de nombreux connecteurs et fils conducteurs disponibles commercialement peuvent être intégrés dans des textiles traditionnels (www.interactive-wear.de). Cela permet de fonctionnaliser le textile. Les batteries peuvent être intégrées, mais restent actuellement solides et non textiles;
- À moyen terme, les films photovoltaïques (Behling, 2013; Brabec, 2011; Johannesen, 2011), piézoélectriques (www.piezotech.eu) ou encore électromécaniques (www.adamant.jp) souples s'intégreront de mieux en mieux aux textiles. Des batteries flexibles permettront aussi de stocker l'énergie produite (<http://jenaxinc.com/>; Qu *et al.*, 2015; www.brightvolt.com; www.enfucell.com; www.imprintenergy.com);
- À long terme, les fibres textiles pourront directement générer de l'énergie que ce soit par des systèmes photovoltaïques (Bedeloglu *et al.*, 2010), piézoélectriques (Khan *et al.*, 2014), triboélectriques (Pu *et al.*, 20) ou thermiques (Beeby, 2013). Le stockage pourra aussi se faire grâce à des fils de graphène (Aboutalebi *et al.*, 2014; C. Pereira et Pereira, 2016).

5. DISCUSSION

Les technologies textiles intelligentes sont à l'étude depuis plus d'une dizaine d'années et elles offrent une large diversification de fonctionnalités. Celles-ci peuvent trouver de nombreuses applications dans le domaine de la SST. En effet, de multiples problématiques sont engendrées par le port des équipements de protection individuelle traditionnels. Le confort apporté par ces équipements de protection est souvent faible (trop chaud, trop encombrant, etc.) et n'incite pas les travailleurs à les porter de façon régulière. De plus, des manques évidents sur le plan de la protection (ex. : suivi des signes vitaux, localisation) ont également été mis en lumière dans le cas des travailleurs isolés.

Les textiles intelligents représentent une solution potentielle à ces problématiques. Selon les technologies considérées, la maturité varie, mais un certain nombre de produits sont déjà commercialisés et ont été recensés dans ce rapport. Dans certains cas, la technologie existante est fonctionnelle, mais nécessite des modifications pour la rendre applicable dans le domaine considéré en fonction des différentes contraintes liées à la tâche et à l'environnement. Enfin, la recherche fondamentale pour le développement de nouvelles technologies, notamment tout ce qui a trait à la récupération d'énergie, est actuellement en cours.

5.1 Capacités de recherche sur les textiles intelligents

De nombreux organismes universitaires et centres de recherche s'intéressent aux textiles intelligents. La recherche est menée à différents niveaux dépendamment de l'organisme concerné.

Les universités telles que l'Université Laval, l'Université Concordia, l'Université OCAD (anciennement le Collège d'art et de design de l'Ontario), l'Université du Québec à Montréal (UQAM), l'Université de Regina, l'Université du Manitoba, l'Université Simon-Fraser et l'Université de Colombie-Britannique, entre autres, sont engagées dans des projets de recherche fondamentale. Des concepts sont explorés et peuvent éventuellement donner lieu au développement de prototypes. La maturité des technologies investiguées demeure toutefois faible (TRL 2-5).

Les centres de recherche et collèges qui agissent en soutien à l'industrie manufacturière textile, tels que le Groupe CTT, Vestechpro, le Collège George Brown, l'Apparel Innovation Center, le Centennial College, et le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), sont plutôt axés sur le développement de produits en soutien à l'industrie. Ainsi, leur travail se concentre sur des technologies plus matures (TRL 5-8) pour lesquelles il est nécessaire de développer des prototypes. Ceux-ci permettent, d'une part, de déterminer et d'optimiser les étapes d'assemblage et, d'autre part, de valider le concept du produit grâce à des essais de caractérisation en laboratoire suivis par des essais-terrains.

Il est important de noter que les études menées aussi bien par les universités que les collèges et/ou les centres de recherche sont majoritairement financées par des subventions gouvernementales, soit provinciales, soit fédérales, en complément de l'apport financier industriel.

Les organismes de normalisation tels que l'ASTM International, l'American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC) et l'International Organization for Standardization (ISO) s'impliquent de plus en plus dans le développement de nouvelles méthodes d'essais applicables aux textiles intelligents. En effet, jusqu'à présent, il n'existe aucune méthode normalisée pour caractériser ou évaluer les performances et la durabilité des produits textiles intelligents. Ceci est un frein majeur pour la commercialisation de masse des textiles intelligents étant donné que les consommateurs n'ont alors aucun point de référence au regard des propriétés des produits.

5.2 Capacités manufacturières de textiles intelligents au Québec et au Canada

À la suite de la délocalisation des usines de production textile à l'étranger et plus particulièrement en Asie, les entreprises textiles canadiennes ont été forcées d'évoluer et de se positionner sur des marchés de niche avec des produits textiles à forte valeur ajoutée. C'est le cas des textiles intelligents auxquels de nombreuses industries manufacturières s'intéressent actuellement. De fait, plus d'une soixantaine d'entreprises canadiennes ont été recensées comme étant actives dans le domaine des textiles intelligents. Cette liste est fournie à l'annexe B. Les informations incluent une brève description du produit et l'hyperlien menant au site web de chaque entreprise.

Les entreprises manufacturières tirent profit de subventions gouvernementales pour collaborer avec des centres de transfert technologique et des universités dans le but de développer de nouveaux produits innovants. La principale difficulté réside dans le passage du prototypage à la production de masse. En effet, la production de textiles intelligents nécessite de nombreuses étapes manuelles qui font croître considérablement le prix du produit, le rendant parfois économiquement non viable pour le marché visé. Le transfert des technologies développées en laboratoire vers les planchers de production est une étape cruciale pour les entreprises manufacturières, mais constitue également un frein majeur au déploiement à large échelle des textiles intelligents auprès des consommateurs.

Une grande partie des entreprises citées dans la liste de l'annexe B, soit environ 60 %, sont toujours en phase de développement de leurs produits et de récolte de fonds pour la production. Les produits sont annoncés en ligne, mais ne seront livrés que dans un horizon de plusieurs mois. Seulement 20 % des compagnies possèdent des produits qui sont d'ores et déjà sur le marché et facilement accessibles pour les consommateurs. Parmi elles, on peut citer OMsignal, Hexoskin, Soleno Textiles et Memtronik Innovation.

Cette optimisation de la production passe par un approvisionnement plus local des composants et notamment des fils conducteurs. Par exemple, la plupart des fils textiles conducteurs utilisés dans la fabrication de produits textiles intelligents commerciaux sont issus d'Europe ou d'Asie. Pour répondre à cette demande croissante, certains filateurs canadiens (ex. : Filspec, Régitex) se lancent dans des essais de développement de fils conducteurs. Ultimement, cette plus

grande disponibilité des ressources à l'échelle locale et l'automatisation des procédés devraient permettre de baisser le coût des produits.

5.3 Faisabilité du programme de recherche et développement proposé

Comme les résultats de cette étude le montrent, plusieurs produits à base de textiles intelligents sont déjà offerts sur le marché et peuvent trouver une utilisation directe en SST ou moyennant quelques légères modifications pour les adapter aux autres exigences de l'application. Ces produits font cependant partie de la première génération de produits commercialisés et peuvent bénéficier d'améliorations :

- Amélioration de la **précision des signaux** mesurés par les capteurs textiles. Par exemple, dans le cas d'électrodes textiles pour la mesure du rythme cardiaque, le signal est de meilleure qualité lorsque les électrodes sont humides (transpiration); sinon il y a un risque de perte momentanée du signal. De même, les capteurs de température peuvent avoir une sensibilité à d'autres éléments environnementaux (UV, pluie, etc.). La précision fournie par les capteurs de température textiles ou flexibles n'est actuellement pas équivalente à celle des dispositifs électroniques. Il est donc nécessaire d'augmenter la précision, la répétabilité et la fiabilité des capteurs pour qu'ils puissent être utilisés par les travailleurs. Ce travail peut être mené par les universités, collèges et centres de recherche qui ont les capacités de faire avancer les technologies;
- Amélioration de la **durabilité des performances**, notamment dans les cas des produits chauffants et/ou thermorégulants. En effet, les matériaux à changement de phase, par exemple, ne permettent de chauffer ou de refroidir que pendant 15 à 20 minutes au maximum, ce qui n'est potentiellement pas suffisant pour des travailleurs qui ont des quarts de travail d'une durée de 8 à 12 heures. Là encore, les universités, collèges et centres de recherche sont équipés pour développer de nouvelles solutions plus durables;
- Amélioration de la **durabilité des produits**, notamment face aux cycles de lavage et à l'exposition à la transpiration. Il s'agit d'une problématique importante qui n'a pas été explorée en profondeur jusqu'à présent. Par exemple, les tee-shirts permettant de mesurer les signes vitaux qui sont actuellement sur le marché sont lavables à la machine, mais ne résistent que rarement à 50 lavages (Metz, 2014), ce qui est une durée de vie relativement courte pour des vêtements portés près de la peau (environ 4 mois). Le développement de nouveaux matériaux plus résistants aux flexions, à la corrosion et à l'abrasion, combinés à la conception de nouvelles méthodes d'assemblage et de connexion permettra d'augmenter la durabilité des textiles intelligents. Ce travail doit être mené en collaboration par les centres de recherche et les manufacturiers pour faire progresser les technologies et obtenir des produits commercialisables;
- Amélioration des **sources d'énergie**. Actuellement, la question de la gestion de l'alimentation énergétique est souvent un élément perçu négativement par les utilisateurs. Les batteries sont généralement jugées lourdes et encombrantes, ce qui réduit grandement les bénéfices d'utiliser des capteurs et/ou actuateurs textiles, flexibles et entièrement intégrés dans les vêtements. Réduire la dimension des batteries est

envisageable, mais cela a des conséquences sur la durée d'action du produit et sur ses performances. De plus, les technologies de captation d'énergie sont encore très loin du marché. Les fabricants de composants électroniques incluant les batteries seront amenés à s'impliquer davantage dans le développement des textiles intelligents.

Par ailleurs, il est primordial que des **méthodes de mesures standardisées** soient mises au point pour permettre de caractériser et d'évaluer les propriétés des textiles intelligents avant leur commercialisation. À l'heure actuelle, l'absence de normes pour les textiles intelligents laisse la place aux arguments marketing, tous revendiquant des propriétés plus attrayantes les unes que les autres. En plus de semer la confusion chez les utilisateurs, cela peut également présenter un risque, car le caractère sécuritaire du produit n'est alors pas évalué de manière rigoureuse. Un exemple récent est le cas des couvertures électriques chauffantes qui ont pris feu et occasionné des brûlures à plusieurs utilisateurs. Ces produits ont été mis sur le marché sans avoir reçu de certification ou avoir été testés correctement. La mise en place de méthodes de test permettra de rassurer les consommateurs sur la sécurité des dispositifs qu'ils utilisent et d'augmenter leur confiance envers les textiles intelligents. Cela rendra également possible une comparaison objective des performances entre les différents fabricants. À long terme, cela incitera la concurrence entre les fabricants et les poussera à optimiser les performances de leurs produits. Les organismes de normalisation (ISO, ASTM et AATCC) ont déjà entrepris certaines initiatives dans ce sens, mais le soutien des centres de recherche et des fabricants est primordial pour permettre d'établir de nouvelles normes.

Finalement, si les textiles intelligents peuvent répondre à plusieurs des problématiques actuelles rencontrées par les travailleurs, il est important de faire la démonstration que le gain apporté sur le plan de la fonctionnalité (chauffant, thermorégulant, mesure des signes vitaux, etc.) est suffisant pour justifier leur utilisation lorsque les autres facteurs externes comme le coût sont pris en compte. Sur ce point, le résultat est souvent sans appel si on tient compte des mesures mises en place actuellement en SST pour pallier les problèmes rencontrés, par exemple, une réduction du temps de travail et un nombre de pauses plus élevé en cas de risque de stress thermique. Au fur et à mesure de l'amélioration des technologies associées aux textiles intelligents et de leur plus grande pénétration dans le domaine de la SST, la perception de certaines personnes concernant le caractère « gadget » de ces produits est aussi amenée à évoluer, alors que la méfiance des transporteurs, des agents des douanes et des services de sécurité en général est appelée à se dissiper.

6. CONCLUSION

Cette étude a été réalisée afin d'analyser le potentiel d'application des textiles et matériaux souples intelligents en santé et en sécurité au travail et de déterminer des pistes de recherche et de développement pour répondre aux besoins du milieu. Elle a exigé la consultation de plus de 500 documents dans la littérature scientifique et technique et les ressources disponibles en ligne. Des informations ont également été obtenues de personnes-ressources en SST, telles que des conseillers en prévention d'associations sectorielles paritaires et professionnelles, des représentants d'entreprises manufacturières et utilisatrices d'équipements de protection, et des chercheurs en SST.

Les travaux ont permis de mettre en évidence un nombre important de technologies, solutions et produits pertinents aux textiles et matériaux souples intelligents, certains encore à l'étape de développement en laboratoire, mais d'autres, déjà offerts sur le marché. Ces technologies, solutions et produits ont été classés en trois catégories, chacune étant ensuite subdivisée en sous-familles :

- Les capteurs, dont le signal d'entrée constitue la caractéristique d'intérêt. Ils constituent environ la moitié des références. Il s'agit, par exemple, de capteurs textiles de température, de gaz, de déformation ou de positionnement, ou d'électrodes intégrées dans les textiles. Les sous-catégories correspondent aux stimuli auxquels répondent ces capteurs : thermique, mécanique, chimique, électrique et physique;
- Les indicateurs/actuateurs, dont le signal de sortie constitue la caractéristique d'intérêt. Ils constituent environ le tiers des références. Il s'agit, par exemple, de fibres chauffantes, de tissus antibactériens, d'écrans textiles, de tissus piézomorphiques, de surfaces autonettoyantes, d'un défibrillateur automatique et intégré dans le vêtement, et de fibres photovoltaïques. Les sous-catégories correspondent au type de signal de sortie que ces indicateurs/actuateurs fournissent : thermique, chimique/biologique, optique, mécanique, physique, électrique, énergie (génération, transfert et stockage) et blindage;
- Les matériaux (à base de polymères, de carbone, de métal ou d'encres conductrices) et composants (connecteurs, antennes), sans référence précise à leur application. Quelques références à des techniques d'intégration et des méthodes d'essai ont aussi été recensées.

La consultation de personnes-ressources en SST a également permis d'inventorier des besoins dans ce domaine en raison des limites des textiles traditionnels, dont les propriétés sont fixes dans le temps et ne peuvent s'ajuster aux conditions rencontrées. Afin de faciliter le recoupement ultérieur de ces besoins avec les solutions disponibles, ceux-ci ont été classés en utilisant les mêmes catégories de capteurs et d'indicateurs/actuateurs, et les mêmes sous-familles. Des exemples de besoins incluent :

- Des capteurs chimiques intégrés dans les sarraus et les combinaisons de protection chimique pour détecter les cas d'exposition, en quantifier l'ampleur, identifier les produits chimiques en cause et déterminer si le vêtement de protection doit être mis au rebut;
- Des capteurs de mouvement et de signes vitaux, avec système de géolocalisation, intégrés dans les vêtements pour les travailleurs isolés et en espace clos;

- Des systèmes de thermorégulation dans le cas de vêtements très protecteurs et peu respirants ou pour les emplois dans des environnements caractérisés par des conditions de température et d'humidité extrêmes, nécessitant des efforts intenses;
- Des vêtements, gants et équipements de protection offrant un meilleur compromis entre la fonctionnalité et le confort, ou dont les niveaux de protection et de dextérité sont ajustables en fonction de la tâche.

L'étude a également permis d'analyser les problématiques actuelles ou anticipées liées à l'usage de textiles intelligents en SST. Huit types de défis ont été définis :

- Le manque de maturité des technologies;
- Les effets négatifs potentiels sur la santé et la sécurité;
- Les problèmes potentiels d'interférence ou d'incompatibilité;
- Le manque de connaissances, de normes et de méthodes d'essai;
- Les difficultés d'accessibilité;
- Les difficultés liées à l'utilisation et à l'entretien;
- Le manque de validation de l'intérêt du dispositif;
- La gestion des déchets et de la fin de vie.

Grâce à un recoupement entre les technologies, solutions et produits pertinents aux textiles et matériaux souples intelligents et les besoins en SST causés par les limites des textiles traditionnels rapportés, des pistes de développement à court, moyen et long termes ont été envisagées :

- Le suivi des signes vitaux avec, à court terme, l'adaptation des solutions disponibles commercialement, par exemple, dans le domaine des articles de sport, à moyen terme l'utilisation de capteurs multifonctions et, à long terme, une intégration plus facile à la vie quotidienne, entre autres pour l'entretien;
- La thermorégulation avec l'adoption à court terme des solutions disponibles commercialement pour alerter l'utilisateur quand il doit s'arrêter et diminuer ou augmenter la température sur commande, l'ajout à moyen terme de technologies actives agissant automatiquement sur la température et, à long terme, une solution optimisée et complètement intégrée permettant une régulation thermique de longue durée et robuste par rapport aux conditions environnementales, à l'usure et au lavage;
- La détection de contaminants avec l'adoption à court terme des solutions disponibles commercialement telles que les gants qui changent de couleur en présence d'une substance chimique, le développement à moyen terme de textiles qui détectent et filtrent les contaminants, et à long terme, qui les éliminent;
- La géolocalisation et la gestion de l'environnement physique avec l'incorporation à court terme de capteurs GPS dans les vêtements, à moyen terme de détecteurs de mouvement et de distance, et, à long terme, l'intégration de toutes les données collectées pour être capable d'anticiper des situations potentiellement problématiques comme un risque de perte d'équilibre pour une personne âgée;
- Le support musculosquelettique avec l'adaptation à court terme de solutions de type exosquelette sur mesure, disponibles commercialement, à moyen terme l'introduction de techniques actives telles que l'électrostimulation ou les textiles à mémoire de forme, et,

à long terme, des textiles ajustant leur forme ou leur rigidité en fonction des sollicitations mécaniques;

- Le transfert, le stockage et la génération d'énergie avec l'intégration à court terme de fils conducteurs et de connecteurs textiles, à moyen terme de batteries flexibles et de films polymères pour la génération d'énergie, et, à long terme, de systèmes tout textiles pour la génération, le stockage et la transmission d'énergie

La dimension éthique est également un point important à considérer. Pour tout textile intelligent permettant la collecte de données personnelles, un protocole sécuritaire doit être mis en place pour assurer la confidentialité de ces données.

L'analyse réalisée lors de cette étude montre que les textiles et matériaux souples intelligents constituent une réponse prometteuse à nombre de problématiques associées aux vêtements et aux équipements de protection actuellement utilisés en SST. De plus, les capacités manufacturières et en recherche dans le domaine des textiles intelligents requises pour la réalisation des travaux proposés sont disponibles au Québec et au Canada. En effet, plus de 60 entreprises canadiennes engagées dans différents aspects des textiles intelligents ont été répertoriées. De plus, la présence à la fois d'universités et de centres de recherche collégiaux actifs dans le domaine des textiles intelligents permet de réaliser des efforts allant de la recherche plus fondamentale à la production de prototypes et à l'optimisation des produits. Le niveau de faisabilité des travaux de recherche et développement est donc très élevé, au moins pour les court et moyen termes, puisqu'ils correspondent essentiellement à une optimisation de produits et technologies existants pour en améliorer la précision, la robustesse, la durabilité et la facilité d'utilisation.

BIBLIOGRAPHIE

- Aboutalebi, S. H., Jalili, R., Esrafilzadeh, D., Salari, M., Gholamvand, Z., Yamini, S. A., ...Wallace, G. G. (2014). High-performance multifunctional graphene yarns: toward wearable all-carbon energy storage textiles. *ACS Nano*, 8(3), 2456-2466. doi:10.1021/nn406026z
- Abraham, S. et Li, X. (2014). A cost-effective wireless sensor network system for indoor air quality monitoring applications. *Procedia Computer Science*, 34, 165-171. doi:10.1016/j.procs.2014.07.090
- Abu-Thabit, N. Y. (2016). Chemical oxidative polymerization of polyaniline: A practical approach for preparation of smart conductive textiles. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1606-1611. doi:10.1021/acs.jchemed.6b00060
- Adafruit. (2017). Adafruit GEMMA v2 - Miniature wearable electronic platform. Tiré de <https://www.adafruit.com/product/1222>
- Adidas. (13 mars 2014). Adidas Launches Climachill Apparel That Helps Keep You Cool and Raises Your Game [Billet de blogue]. Tiré de <http://news.adidas.com/US/Latest-News/adidas-Launches-Climachill-Apparel-That-Lowers-Your-Temperature-And-Raises-Your-Game/s/576d7799-ad91-485c-94b4-abbad6002010>
- Adream. (2012). Teksolar. Tiré de <http://www.adream2012.eu/en/node/507>
- Agmon, E. (2016). Backing for wearable sensors company. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016, (7), 3.
- Ahmed, Z., Torah, R., Yang, K., Beeby, S. et Tudor, J. (2016). Investigation and improvement of the dispenser printing of electrical interconnections for smart fabric applications. *Smart Materials and Structures*, 25(10), 105021. doi:10.1088/0964-1726/25/10/105021
- Ahmed, Z., Wei, Y., Torah, R. et Tudor, J. (2016). Actively actuated all dispenser printed thermochromic smart fabric device. *Electronic Letters*, 52(19), 1601-1603. doi:10.1049/el.2016.1073
- Akbar-Khanzadeh, F., Bisesi, M. S. et Rivas, R. D. (1995). Comfort of personal protective equipment. *Applied Ergonomics*, 26(3), 195-198. doi:10.1016/0003-6870(95)00017-7
- Akkermans, J. (2011). 2011—the year for Lumalive take-off?. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(1), 1-2.
- Altimari, K. (2016). Invista launches Thermolite Infrared. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016(3), 10.
- Amir, U., Malafriev, O. et Katz, I. (2014). *Brevet international n° WO 2014/192002 A1*. Petah Tikva (IL): World Intellectual Property Organization.
- Angela, T. Y. H., Viswanathan, V., Lees, M. et Cai, W. (2014). Analysing the effectiveness of wearable wireless sensors in controlling crowd disasters. *Procedia Computer Science*, 29, 1590-1599. doi:10.1016/j.procs.2014.05.144
- ARACON. (2017). Smart Fabric. Tiré de <http://www.araconfiber.com/smart-fabric/>

- Arogbonlo, A., Usma, C., Kouzani, A. Z. et Gibson, I. (2015). Design and fabrication of a capacitance based wearable pressure sensor using e-textiles. *Procedia Technology*, 20, 270-275. doi:10.1016/j.protcy.2015.07.043
- Ashir, M., Hahn, L., Kluge, A., Nocke, A. et Cherif, C. (2016). Development of innovative adaptive 3D fiber reinforced plastics based on shape memory alloys. *Composites Science and Technology*, 126, 43-51. doi:10.1016/j.compscitech.2016.02.009
- Asiatic Fiber Corporation. (2016). Heated Module 3.7V. Tiré de https://www.asiatic.com.tw/product_list.php?cid=2929
- Avloni, J. (2011a). Hot Dog adds effective heat for hospitals. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(3), 3.
- Avloni, J. (2011b). Latest piezoresistive EeonTex fabrics. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(3), 6.
- Babaahmadi, V. et Montazer, M. (2016). Reduced graphene oxide/SnO₂ nanocomposite on PET surface: Synthesis, characterization and application as an electro-conductive and ultraviolet blocking textile. *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 506, 507-513. doi:10.1016/j.colsurfa.2016.07.025
- Bahadir, S. K., Koncar, V. et Kalaoglu, F. (2012). Wearable obstacle detection system fully integrated to textile structures for visually impaired people. *Sensors and Actuators A: Physical*, 179, 297-311. doi:10.1016/j.sna.2012.02.027
- Bajorat, B. M. (2013). Pure filament pressure-sensing. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(8), 2.
- Baldoli, I., Mazzocchi, T., Paoletti, C., Ricotti, L., Salvo, P., Dini, V., ...Menciassi, A. (2016). Pressure mapping with textile sensors for compression therapy monitoring. *Journal of Engineering in Medicine*, 230(8), 795-808. doi:10.1177/0954411916655184
- Battista, E., Lettera, V., Villani, M., Calestani, D., Gentile, F., Netti, P. A., ...Coppedè, N. (2017). Enzymatic sensing with laccase-functionalized textile organic biosensors. *Organic Electronics*, 40, 51-57. doi:10.1016/j.orgel.2016.10.037
- Bautista-Quijano, J. R., Pötschke, P., Brünig, H. et Heinrich, G. (2016). Strain sensing, electrical and mechanical properties of polycarbonate/multiwall carbon nanotube monofilament fibers fabricated by melt spinning. *Polymer*, 82, 181-189. doi:10.1016/j.polymer.2015.11.030
- Baxter, B. (2013). Smart fabric system fights pressure ulcers. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(6), 9.
- Bedeloglu, A., Demir, A., Bozkurt, Y. et Sariciftci, N. S. (2010). A photovoltaic fiber design for smart textiles. *Textile Research Journal*, 80(11), 1065-1074. doi:10.1177/0040517509352520
- Beeby, S. (2013). The future of charging at festivals. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(8), 9.
- Begrache, A. et Lachapelle, D. (2010). *Intelligent textiles for protection – Overview and technologies*. Communication présentée à Soldier Systems Technology Roadmap – Soldier survivability/sustainability/mobility Workshop, Ottawa, ON.

- Behling, P. J. (2013). Energy storage textiles. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(3), 10.
- Bekaert. (2015). Textile. Tiré de <http://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile>
- Belt-Tech. (2017). Real time information seat belts (RTI). Tiré de <http://www.belt-tech.com/en/rd/rti-seat-belts/>
- Berendjchi, A., Khajavi, R., Yousefi, A. A. et Yazdanshenas, M. E. (2015). Improved continuity of reduced graphene oxide on polyester fabric by use of polypyrrole to achieve a highly electro-conductive and flexible substrate. *Applied Surface Science*, 363, 264-272. doi:10.1016/j.apsusc.2015.12.030
- Beringer, J. (2013). First quality label for cooling effect of fibres. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(10), 4.
- Biomod. (2017). Nos innovations. Tiré de <http://biomod.com/fr/nos-innovations/>
- BioSpectrum Bureau. (14 novembre 2012). Clearbridge VitalSigns leverages on CardioLeaf [Billet de blogue]. Tiré de <http://www.biospectrumasia.com/news/54/1212/clearbridge-vitalsigns-leverages-on-cardioleaf-.html>
- Bivolarova, M. P., Melikov, A. K., Mizutani, C., Kajiwarra, K. et Bolashikov, Z. D. (2016). Bed-integrated local exhaust ventilation system combined with local air cleaning for improved IAQ in hospital patient rooms. *Building and Environment*, 100, 10-18. doi:10.1016/j.buildenv.2016.02.006
- Björklund, E. (2016). Reima introduces wearable tech for kids. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016(3), 6.
- Blake, B. (2013). Texan trials of WASP firefighting system. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(4), 5-6.
- BodiTrak. (2013). BodiTrak Monitor. Tiré de <http://www.boditrak.com/products/boditrakmonitor.php>
- Bowker, L. (2014). Carbon monoxide-sensing clothing. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2014(7), 12.
- Bowman, D. et Mattes, B. R. (2005). Conductive fibre prepared from ultra-high molecular weight polyaniline for smart fabric and interactive textile applications. *Synthetic Metals*, 154(1-3), 29-32. doi:10.1016/j.synthmet.2005.07.017
- Brabec, C. (2011). Konarka's Power Plastic achieves world record 8.3% efficiency. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(1), 3-4.
- Brady, S., Diamond, D. et Lau, K.-T. (2015). Inherently conducting polymer modified polyurethane smart foam for pressure sensing. *Sensors and Actuators A: Physical*, 119(2), 398-404. doi:10.1016/j.sna.2004.10.020
- Brock, M. (2015). Ten sensors per fibre with Xelflex. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(2), 1-2.
- Cahill, K. (9 avril 2014). Wearable Technology Industry Changes Personal Fitness with Athos [Billet de blogue]. Tiré de <https://www.sporttechie.com/wearable-technology-industry-changes-personal-fitness-with-athos/>

- Caldara, M., Colleoni, C., Guido, E., Re, V. et Rosace, G. (2012). Development of a textile-optoelectronic pH meter based on hybrid xerogel doped with Methyl Red. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 171-172, 1013-1021. doi:10.1016/j.snb.2012.06.024
- Capineri, L. (2014). Resistive sensors with smart textiles for wearable technology: from fabrication processes to integration with electronics. *Procedia Engineering*, 87, 724-727. doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.748
- Chalco-Sandoval, W., Fabra, M. J., López-Rubio, A. et Lagaron, J. M. (2015). Development of polystyrene-based films with temperature buffering capacity for smart food packaging. *Journal of Food Engineering*, 164, 55-62. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.04.032
- Chang, L. (9 octobre 2015). LikeAGlove smart leggings will help you find your perfect pair of jeans [Billet de blogue]. Tiré de <https://www.digitaltrends.com/wearables/likeaglove-smart-leggings/>
- Chen, S., Ma, W., Xiang, H., Cheng, Y., Yang, S., Weng, W. et Zhu, M. (2016). Conductive, tough, hydrophilic poly (vinyl alcohol)/graphene hybrid fibers for wearable supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 319, 271-280. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.04.030
- Chen, T., Fang, Q., Zhong, Q., Chen, Y. et Wang, J. (2015). Synthesis and thermosensitive behavior of polyacrylamide copolymers and their applications in smart textiles. *Polymers*, 7(5), 909-920. doi:10.3390/polym7050909
- Cheng, J., Sundholm, M., Zhou, B., Hirsch, M. et Lucowicz, P. (2016). Smart-surface: Large scale textile pressure sensors arrays for activity recognition. *Pervasive and Mobile Computing*, 30(C), 97-112. doi:10.1016/j.pmcj.2016.01.007
- Choi, J.-Y. et Oh, T. S. (2015). Contact resistance comparison of flip-chip joints produced with anisotropic conductive adhesive and nonconductive adhesive for smart textile applications. *Materials Transactions*, 56(10), 1711-1718. doi:10.2320/matertrans.M2015106
- Chromat. (2017a). Adrenaline Dress. Tiré de <https://chromat.co/pages/lab#adrenaline-dress>
- Chromat. (2017b). Aeros Bra. Tiré de <https://chromat.co/pages/lab#aeros-bra>
- Chrysostom, K. et Kasper, R. J. (2013). *Brevet américain n° US 2013/0088329 A1*. Perrysburg, OH (US): United States Patent and Trademark Office.
- Chung, K.-Y., Na, Y.-J. et Lee, J.-H. (2013). Interactive design recommendation using sensor based smart wear and weather WebBot. *Wireless Personal Communications*, 73(2), 243-256. doi:10.1007/s11277-013-1234-5
- CNRC. (2016). *Compagnies canadiennes dans le domaine des textiles intelligents et « wearables »*. Ministère Canadien de l'innovation, des sciences et du développement économique.
- Codau, T.-C., Onofrei, E., Bedek, G., Dupont, D. et Cochrane, C. (2015). Embedded textile heat flow sensor characterization and application. *Sensors and Actuators A: Physical*, 235, 131-139. doi:10.1016/j.sna.2015.10.004
- CozyWinters. (2017). ColdAvenger Facemasks and Balaclava. Tiré de <https://cozywinters.com/facemask-balaclava.html>

- Craddock, V. et Akhtar, P. (2015). Responsive fashion with 'Intel inside'. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(11), 1-2.
- D'Addio, G., Iuppriello, L., Pagano, G., Biancardi, A., Lanzillo, B., Pappone, N. et Cesarelli, M. (2016). *New posturographic assessment by means of Novel E-textile and Wireless Socks Device*. Communication présentée à 2016 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), Bénévent, Italie (p. 1–5). doi:10.1109/MeMeA.2016.7533798
- Da Conceição Andrade, A., Fonseca, I. P., Jilani, S. F. et Alomainy, A. (2016). *Reconfigurable textile-based ultra-wideband antenna for wearable applications*. Communication présentée à 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Suisse (p. 1-4). doi:10.1109/EuCAP.2016.7481854
- Dalsgaard, C. (2013a). Textile strain-gauge sensor in medical stockings. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(4), 2.
- Dalsgaard, C. (2013b). Powerweave energy storage project. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(4), 4.
- Dalsgaard, C. (2015a). Muscle monitoring in space at Ohmatex. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(1), 4-5.
- Dalsgaard, C. (2015b). Textile sensors for comfortable spinal braces. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(1), 7.
- Dalsgaard, C. et Sterrett, R. (2014). *White paper on smart textile garments and devices: a market overview of smart textile wearable technologies*. Denmark: Ohmatex Aps.
- Das, A., Beatty, P. et Dutta, R. (2014). *Estimation of physiological body parameters from smart garment data*. Communication présentée à IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC 2014) Proceedings, Montevideo, Uruguay (p. 86-90). doi:10.1109/I2MTC.2014.6860706
- De Kok, M. (2015). Solar fashion for the high street. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(5), 6.
- De Kok, M., de Vries, H., Pacheco, K. et van Heck, G. (2015). Failure modes of conducting yarns in electronic-textile applications. *Textile Research Journal*, 85(16), 1749-1760.
- De Vos, M., Torah, R. et Tudor, J. (2016). Dispenser printed electroluminescent lamps on textiles for smart fabric applications. *Smart Materials and Structures*, 25(4), 1–8. doi:10.1088/0964-1726/25/4/045016
- De Vries, H. et Peerlings, R. (2014). Predicting conducting yarn failure in woven electronic textiles. *Microelectronics Reliability*, 54(12), 2956-2960. doi: 10.1016/j.microrel.2014.07.008
- Decaens, J. et Vermeersch, O. (2016). Wearable technologies for PPE: embedded textile monitoring sensors, power and data transmission, end-life indicators. Dans V. Koncar (édit.), *Smart Textiles and Their Applications* (p. 519-538). Duxford, UK: Woodhead Publishing.
- Dempsey, P. C., Handcock, P. J. et Rehrer, N. J. (2013). Impact of police body armour and equipment on mobility. *Applied Ergonomics*, 44(6), 957-961. doi:10.1016/j.apergo.2013.02.011

- Di Rienzo, M., Vaini, E. et Lombardi, P. (2015). *Wearable monitoring: A project for the unobtrusive investigation of sleep physiology aboard the international space station*. Communication présentée à Wearable Monitoring: a Project for the Unobtrusive Investigation of Sleep Physiology Aboard the International Space Station, Nice, France (p. 125-128). doi:10.1109/CIC.2015.7408602
- Digitsole. (2015). Multi-purpose insoles. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(8), 8. Ding, X. M., Hu, J. L., Tao, X. M. et Hu, C. P. (2006). Preparation of Temperature-Sensitive Polyurethanes for Smart Textiles. *Textile Research Journal*, 76(5), 406-413. doi:10.1177/0040517506063389
- Doganay, D., Coskun, S., Genlik, S. P. et Unalan, H. E. (2016). Silver nanowire decorated heatable textiles. *Nanotechnology*, 27(43), 435201. doi:10.1088/0957-4484/27/43/435201
- Dolez, P. I. et Mlynarek, J. (2016). Smart Materials for PPE: Tendencies and Recent Developments. Dans V. Koncar (édit.), *Smart Textiles and Their Applications* (p. 497-517). Duxford, UK: Woodhead Publishing.
- Du, C.-Z., Yang, F.-H. et Zhong, S.-S. (2015). *Dual-polarized Textile Antenna Integrated in the Three Dimensional Orthogonal Woven Fabrics*. Communication présentée à 2015 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), Suzhou, Chine (p. 1-3). doi:10.1109/IMWS-AMP.2015.7324973
- Du, P., Song, L., Xiong, J., Wang, L. et Li, N. (2013). A photovoltaic smart textile and a photocatalytic functional textile based on co-electrospun TiO/MgO core-sheath nanorods: novel textiles of integrating energy and environmental science with textile research. *Textile Research Journal*, 0(00), 1-13. doi:10.1177/0040517513490062
- Duncan, J. (s.d.). Vital Jacket Will Monitor Your Health [Billet de blogue]. Tiré de <http://thefutureofthings.com/6389-vital-jacket-will-monitor-your-health/>
- Edwards, L. (27 novembre 2014). Victoria's Secret Incredible smart sports bra will track your heart rate [Billet de blogue]. Tiré de <http://www.pocket-lint.com/news/131870-victoria-s-secret-incredible-smart-sports-bra-will-track-your-heart-rate>
- Edwards, L. (9 décembre 2014). 'Gadgets supporting humans' has been taken literally for the Bionic Bra [Billet de blogue]. Tiré de <http://www.pocket-lint.com/news/131969-gadgets-supporting-humans-has-been-taken-literally-for-the-bionic-bra>
- Edwards, M. (2014). TenCate adds sensors to body armour. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2014(12), 3.
- Egan, D. (2011). Zoll reports rapidly expanding sales of LifeVest. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(3), 6-7.
- Ehrlich, M. (2012). Micoach to feature in US soccer game. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(6), 1-2.
- Elder, C. (2012). Zoll's smart system is saving a life a day. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(5), 1-2.
- Ethé, S. (2012). O-synce ready to launch Screen-Eye. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(3), 7.

- Falzon, B. G., Robinson, P., Frenz, S. et Gilbert, B. (2014). Development and evaluation of a novel integrated anti-icing/de-icing technology for carbon fibre composite aerostructures using an electro-conductive textile. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 68, 323-335. doi:10.1016/j.compositesa.2014.10.023
- Fendt, B. (2011). Survival suits made more comfortable with phase-change materials. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(6), 12.
- Feng, J., Hontañón, E., Blanes, M., Meyer, J., Guo, X., Santos, L., ... Biskos, G. (2016). Scalable and environmentally benign process for smart textile nanofinishing. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(23), 14756-14765. doi:10.1021/acsami.6b03632
- Ferreira, A. G., Fernandes, D., Branco, S., Monteiro, J. L., Cabral, J., Catarino, A. P. et Rocha, A. M. (2016). *A smart wearable system for sudden infant death syndrome monitoring*. Communication présentée à 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Taipei, Taiwan (p. 1920–1925). doi:10.1109/ICIT.2016.7475060
- Fibre2Fashion. (6 décembre 2016). Smart Apparel Made Of E-textiles On The Horizon [Billet de blogue]. Tiré de <https://wtvox.com/fashion-tech/smart-apparel-horizon/>
- Filspec. (2017). The heat generating yarn – Warmfil. Tiré de <http://www.filspec.com/thermal-management>
- Forster Rohner. (2013). Lighting up *Techtextil*. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(7), 1.
- Franco, D. (2012). Far infrared for wellbeing. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(1), 11.
- Frydrysiak, M. et Tesiorowski, L. (2016). *Health monitoring system for protecting elderly people*. Communication présentée à International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech), Split, Croatie (p. 1–6). doi:10.1109/SpliTech.2016.7555935
- Gagnon, B. (23 janvier 2015). L'Hexoskin, un vêtement connecté pour l'athlète en vous [Billet de blogue]. Tiré de <http://branchez-vous.com/2015/01/23/lhexoskin-vetement-connecte-pour-lathlete-en-vous/>
- Gameiro, P. (2013). Fighting fatal fatigue with smart fabrics. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(4), 3.
- Gan, L., Shang, S., Yuen, C. W. M. et Jiang, S. X. (2015). Graphene nanoribbon coated flexible and conductive cotton fabric. *Composites Science and Technology*, 117, 208-214. doi:10.1016/j.compscitech.2015.06.019
- Ganczak, M. et Szych, Z. (2007). Surgical nurses and compliance with personal protective equipment. *Journal of Hospital Infection*, 66(4), 346-351. doi:10.1016/j.jhin.2007.05.007
- Gendelman, A. (2011). FDA grants approval for Zephyr's bioharness. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(2), 3.
- Ghahremani, M., Babaei, M. et Latifi, M. (2015). Evaluating silver tracks conductivity on flexible surfaces. *Journal of Industrial Textiles*, 46(2), 530-548. doi:10.1177/1528083715589753
- Gidik, H., Bedek, G., Dupont, D. et Codau, C. (2015). Impact of the textile substrate on the heat transfer of a textile heat flux sensor. *Sensors and Actuators A: Physical*, 230, 25-32. doi:10.1016/j.sna.2015.04.001

- Goldfeld, Y., Quadflieg, T., Gries, T. et Rabinovitch, O. (2016). Smart textile reinforcement with embedded stainless steel yarns for the detection of wetting and infiltration in TRC structures. *Sensors and Actuators A: Physical*, 243, 139-150. doi:10.1016/j.sna.2016.02.039
- Goode, L. (20 août 2015). Ralph Lauren's 'smart' shirt is the ultimate preppy tech [Billet de blogue]. Tiré de <http://www.theverge.com/2015/8/20/9178923/ralph-laurens-polotech-smart-shirt-is-the-ultimate-preppy-tech>
- Google et Levi Strauss Corporate Communications. (2016). Can Google and Levi's make the breakthrough?. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016(7), 1-2.
- Goret, M. (2016). Google takes Project Jacquard into hospitals. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016(8), 6.
- Grimmelsmann, N., Martens, Y., Schäl, P., Meissner, H. et Ehrmann, A. (2016). Mechanical and electrical contacting of electronic components on textiles by 3D printing. *Procedia Technology*, 26, 66-71. doi:10.1016/j.protcy.2016.08.010
- Guglielmi, M. (2013). Wall-E. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(8), 3.
- Guo, X., Huang, Y., Cai, X., Liu, C. et Liu, P. (2016). Capacitive wearable tactile sensor based on smart textile substrate with carbon black/silicone rubber composite dielectric. *Measurement Science and Technology*, 27(4), 045105. doi:0957-0233/27/4/045105
- Haberlandt, C. (2015). Beating back pain. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(6), 5.
- Haeringer, D. et Goschnick, J. (2008). Characterization of smelling contaminations on textiles using a gradient microarray as an electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 132(2), 644-649. doi:10.1016/j.snb.2008.01.068
- Hagmann, M. (2013). Moisture for smarter monitoring technology. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(8), 3.
- Hammacher Schlemmer. (2017). The Subzero Warm Breath Mask. Tiré de <http://www.hammacher.com/Product/Default.aspx?sku=78958>
- Han, L. (2012). Patent on electronic nose secured. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(1), 8-9.
- Hansen, R. V., Zhong, L., Khor, K. A., Zheng, L. et Yang, J. (2016). Tuneable electrochromism in weavable carbon nanotube/polydiacetylene yarns. *Carbon*, 106, 110-117. doi:10.1016/j.carbon.2016.05.029
- Hatfield, G. (2013). New patent for nanofibre lighting. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(2), 4-5.
- He, W., Van Ngoc, H., Qian, Y. T., Hwang, J. S., Yan, Y. P., Choi, H. et Kang, D. J. (2016). Synthesis of ultra-thin tellurium nanoflakes on textiles for high-performance flexible and wearable nanogenerators. *Applied Surface Science*, 392, 1055-1061. doi:10.1016/j.apsusc.2016.09.157
- Heddoko. (2017). About. Tiré de <http://d3center.ca/fr/startups/heddoko/>
- Heubel, R. W., Steger, R. et Bakircioglu, M. (2010). *Brevet international n° WO 2010/068571 A1*. San José, CA (US): World Intellectual Property Organization.

- Heyse, P., Buyle, G. et Beccarelli, P. (2016). MULTITEXCO - High performance smart multifunctional technical textiles for tensile structures. *Procedia Engineering*, 155, 8-17. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.002
- Hirata, K. (2016). Toyobo plans Cocomi launch. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016(3), 12.
- Hofmann, C. (2013). Activity monitors. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(8), 5.
- Hollingsworth, J. (2011). New drug application for migraine smart patch. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(4), 3.
- Holschuh, B. et Newman, D. (2015). Two-spring model for active compression textiles with integrated NiTi coil actuators. *Smart Materials and Structures*, 24(3), 035011. doi:10.1088/0964-1726/24/3/035011
- Honeywell International. (2017). HARNAIS MILLER H-DESIGN®. Tiré de http://www.honeywellsafety.com/FR/Product_Catalog/fall_protection.aspx
- Huang, G., Liu, L., Wang, R., Zhang, J., Sun, X. et Peng, H. (2016). Smart color-changing textile with high contrast based on a single-sided conductive fabric. *Journal of Materials Chemistry C*, 4(32), 7589-7594. doi:10.1039/c6tc02051h
- Huang, J.-S., Jiang, T.-Y., Wang, Z.-X., Wu, S.-W. et Chen, Y.-S. (2016). A novel textile antenna using composite multifilament conductive threads for smart clothing applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 58(5), 1232-1236. doi:10.1002/mop.29771
- Huang, Y., Zhu, M., Pei, Z., Xue, Q., Huang, Y. et Zhi, C. (2016). A shape memory supercapacitor and its application in smart energy storage textiles. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(4), 1290-1297. doi:10.1039/c5ta09473a
- Hunt, R. (9 juin 2016). Top 5 Smart Clothes You Can Buy Right Now [Billet de blogue]. <https://wtvox.com/fashion-tech/top-5-smart-clothes/>
- Huusko, P. (16 février 2016). Mbody Pro [Billet de blogue]. Tiré de <http://www.myontec.com/mbody-allsport-6channel-3/>
- In het Panhuis, M., Wu, J., Ashraf, S. A. et Wallace, G. G. (2007). Conducting textiles from single-walled carbon nanotubes. *Synthetic Metals*, 157(8-9), 358-362. doi:10.1016/j.synthmet.2007.04.010
- Industrial Fabrics Association International (IFAI). (17 octobre 2016). Kelheim Fibres develops static dissipative viscose fiber [Billet de blogue]. Tiré de <http://advancedtextilesource.com/2016/10/17/kelheim-fibres-develops-static-dissipative-viscose-fiber/>
- Industrial Fabrics Association International (IFAI). (30 septembre 2016). Sympatex to introduce heating and lighting workwear [Billet de blogue]. Tiré de <http://advancedtextilesource.com/2016/09/30/sympatex-to-introduce-heating-and-lighting-workwear/>
- Industrial Fabrics Association International (IFAI). (4 novembre 2016). Stretchable smart sensors adjust to applications [Billet de blogue]. Tiré de <http://advancedtextilesource.com/2016/11/04/stretchable-smart-sensors-adjust-to-a-variety-of-applications/>

- Innovations in Textiles. (20 août 2015). Footfalls & Heartbeats launches crowd-funding campaign to produce smart knitted fabrics [Billet de blogue]. Tiré de <http://www.innovationintextiles.com/footfalls-heartbeats-launches-crowdfunding-campaign-to-produce-smart-knitted-fabrics/>
- Invista. (2017). THERMOLITE® INFRARED technology. Tiré de <https://thermolite.com/en/Technologies-and-Innovations/THERMOLITE-PRO-Technologies/INFRARED>
- Jarden Applied Materials. (2008). Products. Tiré de <http://www.resistat.com/products.asp>
- Jeong, M. J., Yun, T.-i., Baek, J. J. et Kim, Y. T. (2016). Wireless power transmission using a resonant coil consisting of conductive yarn for wearable devices. *Textile Research Journal*, 86(14), 1543-1548. doi:10.1177/0040517515586163
- Jocic, D. (2010). *Surface modification systems for creating stimuli responsiveness of textiles* (1^{ère} éd.). Enschede, Pays-Bas: University of Twente.
- Johannesen, H.-L. (2011). Solar sequins for new design possibilities. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(9), 8–9.
- John, A., Tomas, M. E., Cadnum, J. L., Mana, T. S. C., Jencson, A., Shaikh, A., ... Donskey, C. J. (2016). Are health care personnel trained in correct use of personal protective equipment?. *American Journal of Infection Control*, 44(7), 840-842. doi:10.1016/j.ajic.2016.03.031
- Johnson, M. (2011). Integrated sensors in Smart Wrap. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(8), 7.
- Juknius, T., Ružauskas, M., Tamulevičius, T., Šiugždinienė, R., Juknienė, I., Vasiliauskas, A., ... Tamulevičius, S. (2016). Antimicrobial properties of diamond-like carbon/silver nanocomposite thin films deposited on textiles: towards smart bandages. *Materials*, 9(5), 371. doi:10.3390/ma9050371
- Jutila, M., Rivas, H., Karhula, P. et Pantsar-Syväniemi, S. (2014). Implementation of a wearable sensor vest for the safety and well-being of children. *Procedia Computer Science*, 32, 888-893. doi:10.1016/j.procs.2014.05.507
- Karamchandani, S., Mustafa, H. D., Merchant, S. N. et Desai, U. B. (2011). Thermally unstable intelligent polymer textile biosensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 156(2), 765-772. doi:10.1016/j.snb.2011.02.036
- Karma Chameleon. (2017). Textile prototypes. Tiré de <http://www.xslabs.net/karma-chameleon/site/prototypes.php>
- Katragadda, R. B. et Xu, Y. (2008). A novel intelligent textile technology based on silicon flexible skins. *Sensors and Actuators*, 143(1), 169-174. doi:10.1016/j.sna.2007.08.013
- Kazani, I., Hertleer, C., De Mey, G., Guxho, G. et Van Langenhove, L. (2013). Dry cleaning of electroconductive layers screen printed on flexible substrates. *Textile Research Journal*, 83(14), 1541-1548. doi:10.1177/0040517512449050
- Kazemi, Z. et Mortazavi, S. M. (2014). A new method of application of hydrated salts on textiles to achieve thermoregulating properties. *Thermochimica Acta*, 589, 56-62. doi:10.1016/j.tca.2014.05.015

- Kemball-Cook, L. (2014). Capturing kinetics 2: Pedestrian power. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2014(11), 2.
- Khalil, S., Yuan, J. et El-Sherif, M. (2004). Development of smart textiles with embedded fiber optic chemical sensors. *Proceedings of SPIE*, 5270, 38-49. doi:10.1117/12.515068
- Khan, A., Hussain, M., Nur, O. et Willander, M. (2014). Fabrication of zinc oxide nanoneedles on conductive textile for harvesting piezoelectric potential. *Chemical Physics Letters*, 612, 62-67. doi:10.1016/j.cplett.2014.08.009
- Khumpuang, S., Miyake, K. et Itoh, T. (2011). Characterization of a SWNT-reinforced conductive polymer and patterning technique for applications of electronic textile. *Sensors and Actuators A: Physical*, 169(2), 378-382. doi:10.1016/j.sna.2011.01.006
- Kilshaw, D. (2013). Insignia Technologies start trials in the USA and Europe. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(12), 11-12.
- Kim, J. S. et Song, C. K. (2016). AMOLED panel driven by OTFTs on polyethylene fabric substrate. *Organic Electronics*, 30, 45-51. doi:10.1016/j.orgel.2015.12.007
- Kinkeldei, T., Zysset, C., Münzenrieder, N. et Tröster, G. (2012). An electronic nose on flexible substrates integrated into a smart textile. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 174, 81-86. doi:10.1016/j.snb.2012.08.023
- Kiourti, A. et Volakis, J. L. (2016). *Wearable Antennas Using Electronic Textiles for RF Communications and Medical Monitoring*. Communication présentée à 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Suisse (p. 1-2). doi:10.1109/EuCAP.2016.7481222
- Kisliuk, B. et Jacobsen, A. (2015). Architected Lattice—the new wonder material. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(1), 1-3.
- Knowles, C. (2013). Smart fibres for medical implantables. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(6), 10.
- Koncar, V. (édit.). (2016). *Smart Textiles and Their Applications*. Duxford, UK: Woodhead Publishing.
- Kordolemis, A. et Giannakopoulos, A. E. (2014). Micropolar 2D elastic cables with applications to smart cables and textiles. *Journal of Engineering Mechanics*, 140(10), 04014079. doi:10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000794
- Kowalczyk, D., Brzeziński, S., Makowski, T. et Fortuniak, W. (2015). Conductive hydrophobic hybrid textiles modified with carbon nanotubes. *Applied Surface Science*, 357(A), 1007-1014. doi:10.1016/j.apsusc.2015.09.132
- Krauss, J. (2011). CSEM to launch its wearable system before the end of 2011. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(4), 2-3.
- Krishnamurthy, G. (23 septembre 2013). AiQ's BioMan Biomonitoring Shirt and Other Smart Clothing Technology [Billet de blogue]. Tiré de <https://www.medgadget.com/2013/09/aigs-bioman-biomonitoring-shirt-and-other-smart-clothing-technology.html>

- Krykpayev, B., Farooqui, M. F., Bilal, R. M. et Shamim, A. (2016). *A WiFi tracking device printed directly on textile for wearable electronics applications*. Communication présentée à 2016 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), San Francisco, CA, États-Unis (p. 1-4). doi:10.1109/MWSYM.2016.7540334
- Kwon, D., Lee, T.-I., Shim, J., Ryu, S., Kim, M. S., Kim, S., ... Park, I. (2016). Highly sensitive, flexible, and wearable pressure sensor based on a giant piezocapacitive effect of three-dimensional microporous elastomeric dielectric layer. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(26), 16922-16931. doi:10.1021/acsami.6b04225
- Langeder, W. (2012). Biking broadcaster. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(4), 12.
- Laporte, V. (2016). Beyond basic stats with TUNE. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016(4), 2-3.
- Lauterbach, C. (2011). Intelligent floors and beds. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(5), 3-4.
- Le Friec, O. (2016). Car seats with biometric sensing. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016(4), 2.
- Lee, H. K. (2015). Gas-detecting e-textiles based on graphene. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(11), 4.
- Lee, J., Kwon, H., Seo, J., Shin, S., Koo, J. H., Pang, C., ... Lee, T. (2015). Conductive fiber-based ultrasensitive textile pressure sensor for wearable electronics. *Advanced Materials*, 27(15), 2433-2439. doi:10.1002/adma.201500009
- Lee, S., Lee, Y., Park, J. et Choi, D. (2014). Stitchable organic photovoltaic cells with textile electrodes. *Nano Energy*, 9, 88-93. doi:10.1016/j.nanoen.2014.06.017
- Leftly, S. (2013). Zegna returns to wearable technology. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(10), 1.
- Leftly, S. (2015). Good vibrations with the new Myovolt. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(3), 2.
- Leonhardt, S. (2011). In-car heart sensor technology from Ford. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(8), 6.
- Li, B., Li, D. et Wang, J. (2014). Copper deposition on textiles via an automated dispensing process for flexible microstrip antennas. *Textile Research Journal*, 84(19), 2026-2035. doi:10.1177/0040517514534753
- Li, L., Au, W. M., Hua, T. et Ding, F. (2014). Smart Textiles: A design approach for garments using conductive fabrics. *The Design Journal*, 17(1), 137-154. doi:10.2752/175630614X13787503070114
- Li, L., Au, W.-M., Ding, F., Hua, T. et Wong, K. S. (2014). Wearable electronic design: Electrothermal properties of conductive knitted fabrics. *Textile Research Journal*, 84(5), 477-487. doi:10.1177/0040517513494254
- Lim, Z. H., Chia, Z. X., Kevin, M., Wong, A. S. W. et Ho, G. W. (2010). A facile approach towards ZnO nanorods conductive textile for room temperature multifunctional sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 151(1), 121-126. doi:10.1016/j.snb.2010.09.037

- Linneweber, S. (2015). Mass-customization for smart insoles. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(8), 2.
- Liu, H., Li, J., Chen, L., Liu, L., Li, Y., Li, X., ...Yang, H. (2015). Thermal-electronic behaviors investigation of knitted heating fabrics based on silver plating compound yarns. *Textile Research Journal*, 86(13), 1398-1412. doi:10.1177/0040517515612359
- Liu, S., Tong, J., Yang, C. et Li, L. (2017). Smart E-textile: Resistance properties of conductive knitted fabric – Single pique. *Textile Research Journal*, 7(14), 1-16. doi:10.1177/0040517516658509
- Locher, I. et Tröster, G. (2008). Enabling Technologies for Electrical Circuits on a Woven monofilament hybrid fabric. *Textile Research Journal*, 78(7), 583-594. doi:10.1177/0040517507081314
- Loss, C., Gonçalves, R., Lopes, C., Pinho, P. et Salvado, R. (2016). Smart coat with a fully-embedded textile antenna for IoT applications. *Sensors*, 16(6), 1–13. doi:10.3390/s16060938
- Lu, X., Sun, Y., Chen, Z. et Gao, Y. (2017). A multi-functional textile that combines self-cleaning, water-proofing and VO₂-based temperature-responsive thermoregulating. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 159, 102-111. doi:10.1016/j.solmat.2016.08.020
- Lymberis, A. et Paradiso, R. (2008). *Smart fabrics and interactive textile enabling wearable personal applications: R&D state of the art and future challenges*. Communication présentée à 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vancouver, B C.
- Lumo Bodytech. (2016). Science of Lumo Run. Tiré de <http://www.lumobodytech.com/science-of-lumo-run/>
- Maccioni, M., Orgiu, E., Cosseddu, P., Locci, S. et Bonfiglio, A. (2006). *The textile transistor: a perspective for distributed, wearable networks of sensor devices*. Communication présentée à Proceedings of the 3rd IEEE-EMBS International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors, MIT, Boston, États-Unis (p. 5-7). doi:10.1109/ISSMDBS.2006.360083
- Makowski, T., Grala, M., Fortuniak, W., Kowalczyk, D. et Brzezinski, S. (2016). Electrical properties of hydrophobic polyester and woven fabrics with conducting 3D network of multiwall carbon nanotubes. *Materials and Design*, 90, 1026-1033. doi:10.1016/j.matdes.2015.11.049
- Mallen, L. (2011). Deflexion rules the waves with Henri Lloyd. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(1), 7.
- Marousopoulou, T. (2013). Sensor-assisted textile water carrier. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(6), 2-3.
- Marvin, C. (1990). *When old technologies were new: Thinking about electric communication in the late nineteenth century*. New York, NY, USA : Oxford University Press,.
- Mason, M. (2015). Atmos mattress features temperature technology. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(11), 3.

- Massé, F., Bourke, A. K., Chardonnes, J., Paraschiv-Ionescu, A. et Aminian, K. (2014). Suitability of commercial barometric pressure sensors to distinguish sitting and standing activities for wearable monitoring. *Medical Engineering & Physics*, 36(9), 739-744. doi:10.1016/j.medengphy.2014.01.001
- Matos, J. C., Avelar, I., Martins, M. B. F. et Gonçalves, M. C. (2017). Greensilica® vectors for smart textiles. *Carbohydrate Polymers*, 156, 268-275. doi:10.1016/j.carbpol.2016.08.015
- Mazumder, P., Jiang, Y., Baker, D., Carrilero, A., Tulli, D., Infante, D., ...Pruneri V. (2014). Superomniphobic, transparent, and antireflection surfaces based on hierarchical nanostructures. *Nano Letters*, 14(8), 4677-4681. Doi:10.1021/nl501767j
- McGreevy, P. D., Sundin, M., Karlsteen, M., Berglin, L., Ternström, J., Hawson, L., ... McLean, A. N. (2014). Problems at the human-horse interface and prospects for smart textile solutions. *Journal of Veterinary Behavior*, 9(1), 34-42. doi:10.1016/j.jveb.2013.08.005
- Mcmaster, S. A. (2016). *Brevet américain n° US 2016/0186366 A1*. Auckland, NZ (US): United States Patent and Trademark Office.
- McMillen, K. (2014). Good vibrations : from music to wearables. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2014(12), 1-2.
- McMillen, K., Le Friec, O., Schafmeister, A. et Fosgard, S. (2016). Computers on wheels. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016(7), 8-12.
- Med-Eng. (2017). LCG Military Vest. Tiré de <https://www.med-eng.com/products/crewsurvivability/thermalmanagement/lcgmilitaryvest.aspx>
- Meikle, A. (2013). Electrical stimulation for walking assistance. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(6), 4-5.
- Meiler, S. (2015). Base layer loaded with sensors from Toray. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(3), 2.
- Metz, R. (2014). This Shirt Is (Really) Sensitive. *MIT Technology Review*. May 9, 2014. <https://www.technologyreview.com/s/527136/this-shirt-is-really-sensitive/>
- Michalak, M. et Krucińska, I. (2015). A smart fabric with increased insulating properties. *Textile Research Journal*, 86(1), 97-111. doi:10.1177/0040517515581585
- Mikkonen, J. et Pouta, E. (2016). *Flexible wire-component for weaving electronic textiles*. Communication présentée à 2016 IEEE 66th Electronic Components and Technology Conference, Las Vegas, NV, États-Unis (p. 1656-1663). doi:10.1109/ECTC.2016.180
- Mohr, G. J. et Müller, H. (2015). Tailoring colour changes of optical sensor materials by combining indicator and inert dyes and their use in sensor layers, textiles and non-wovens. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 206, 788-793. doi:10.1016/j.snb.2014.09.104
- Morese, A. (2016). Road safety with Oleasense. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016(1), 5-6.
- Morris, D. (2013). Piezomorphic linings enhance comfort. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(1), 3.
- Müller, M. (2014). Moticon claims 2014 Wearable Technologies trophy. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2014(3), 1.

- Mura, S., Greppi, G., Malfatti, L., Lasio, B., Sanna, V., Mura, M. E., ... Lugliè, A. (2015). Multifunctionalization of wool fabrics through nanoparticles: A chemical route towards smart textiles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 456, 85-92. doi:10.1016/j.jcis.2015.06.018
- Myant Capital Partners. (2016). *Visibility Vest. Brevet canadien n° 162086 S*.
- Nag, S. et Sharma, D. K. (2006). *Wireless E-Jacket for Multiparameter Biophysical Monitoring and Telemedicine Applications*. Communication présentée à Proceedings of the 3rd IEEE-EMBS International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors, MIT, Boston, USA (p. 40-44). doi:10.1109/ISSMDBS.2006.360092
- Nideröst, R. (14 mai 2012). Real smart: protective clothing with built-in A/C [Billet de blogue]. Tiré de <https://www.empa.ch/web/s604/schutwest?inheritRedirect=true>
- Nike Europe. (2012). Nike innovations for a summer of sport. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(10), 2-3.
- Nurse, C. et Otentico, O. B. (2016). adidas Climacool Smart Suit data guarantees authenticity. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2016(6), 6.
- OMsignal. (1^{er} janvier 2016). Introducing the OMbra and the all-new OMrun platform [Billet de blogue]. Tiré de <https://omsignal.com/blogs/omsignal-blog/81228673-introducing-the-ombra-and-the-all-new-omrun-platform>
- OMsignal. (2017). OMbra. Tiré de <https://www.omsignal.com/products/ombra?variant=25804131585>
- Onofrei, E., Codau, T.-C., Bedek, G., Dupont, D. et Cochrane, C. (2016). Textile sensor for heat flow measurements. *Textile Research Journal*, 87(2), 1-10. doi:10.1177/0040517515627167
- Opwis, K., Knittel, D. et Gutmann, J. S. (2012). Oxidative in situ deposition of conductive PEDOT: PTSA on textile and their application as textile heating element substrates. *Synthetic Metals*, 162(21-22), 1912-1918. doi:10.1016/j.synthmet.2012.08.007
- Oswald, S. (2012). 'Hot pants' for Hoy before gold medal number six. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(9), 6-7.
- Outlast Technologies. (2014). Technologie. Tiré de <http://www.outlast.com/fr/technologie/>
- Paine, S. (réalisateur). (2006). *Eleksen Fabric Keyboard* [Vidéo en ligne]. Tiré de <https://www.youtube.com/watch?v=HhuJen-qFo0>
- Paiva, A., Carvalho, H., Catarino, A., Postolache, O. et Postolache, G. (2015). *Development of dry textile electrodes for electromiography: A comparison between knited structures and conductive yarns*. Communication présentée à 2015 Ninth International Conference on Sensing Technology, Auckland, Nouvelle-Zélande (p.447-451). doi:10.1109/ICSensT.2015.7438440
- Papaiordanidou, M., Takamatsu, S., Rezaei-Mazinani, S., Lonjaret, T., Martin, A. et Ismailova, E. (2016). Cutaneous recording and stimulation of muscles using Organic electronic textiles. *Advanced Healthcare Materials*, 5(16), 2001-2006. doi:10.1002/adhm.201600299

- Paul, G., Cao, F., Torah, R., Yang, K., Beeby, S. et Tudor, J. (2013). A smart textile based facial EMG and EOG computer interface. *IEEE Sensors Journal*, 14(2), 393-400. doi:10.1109/JSEN.2013.2283424
- Paul, G., Torah, R., Yang, K., Beeby, S., et Tudor, J. (2014). An investigation into the durability of screen-printed conductive tracks on textiles. *Measurement Science and Technology*, 25(2), 1-11. doi:10.1088/0957-0233/25/2/025006
- Pereira, C. et Pereira, A. M. (2016). Functional Carbon-based nanomaterials for energy storage: Towards smart textile supercapacitors. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, 40, 42-48. Tiré de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5611887.pdf>
- Perroni, F., Cignitti, L., Cortis, C. et Capranica, L. (2014). Physical fitness profile of professional Italian firefighters: Differences among age groups. *Applied Ergonomics*, 45(3), 451-461. doi:10.1016/j.apergo.2013.06.005
- Perry, C. (28 janvier 2013). Bioinspired fibers change color when stretched [Billet de blogue]. Tiré de <http://www.seas.harvard.edu/news/2013/01/bioinspired-fibers-change-color-when-stretched>
- Petrochko, C. (2013). NuPathe's Patch for Migraine Wins FDA Approval. *MedPage Today*. January 18, 2013. Tiré de <https://www.medpagetoday.com/publichealthpolicy/fdageneral/36920>
- Philips, A. (2015). Cool suit for chemical protection. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(12), 5.
- Picardo, J. (2014). Adding light-emitting diode signage to flooring. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2014(1), 1-2.
- Pierce, D. (5 janvier 2016). How Under Armour Plans to Turn Your Clothes Into Gadgets [Billet de blogue]. Tiré de <https://www.wired.com/2016/01/under-armour-healthbox/>
- Poboroniuc, M.-S., Curteza, A., Cretu, V. et Macovei, L. (2014). *Designing Wearable Textile Structures with Embedded Conductive Yarns and Testing their Heating Properties*. Communication présentée à 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2014), Iași, Roumanie (p. 778-783). doi:10.1109/ICEPE.2014.6970016
- Post, R., Orth, M., Russo, P. et Gershenfeld, N. (2000). E-broidery: design and fabrication of textile-based computing. *IBM Systems Journal* 39(3-4), 840-860.
- Poupyrev, I. (2016). *Brevet américain n° US 2016/0048235 A1*. Mountain View, CA (US): United States Patent and Trademark Office.
- Pressley, E. G. (2012). First responders to hypothermia. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(2), 2.
- Pu, X., Li, L., Song, H., Du, C., Zhao, Z., Jiang, C., ... Wang, Z. L. (2015). A Self-Charging Power Unit by Integration of a Textile Triboelectric Nanogenerator and a Flexible Lithium-Ion Battery for Wearable Electronics. *Advanced Materials*, 27(15), 2472-2478. doi:10.1002/adma.201500311
- Qu, H., Semenikhin, O. et Skorobogatiy, M. (2015). Flexible fiber batteries for applications in smart textiles. *Smart Materials and Structures*, 24(2), 1-13(025012). doi:10.1088/0964-1726/24/2/025012

- Quintero, A. V., Carama, M., Mattana, G., Gaschler, W., Chabreck, P., Briand, D. et de Rooij, N. F. (2015). Capacitive strain sensors inkjet-printed on PET fibers for integration in industrial textile. *Procedia Engineering*, 120, 279-282. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.613
- Rai, P., Kumar, P. S., Oh, S., Kwon, H., Mathur, G. N. et Varadan, V. K. (2011). Printable low-cost sensor systems for healthcare smart textile. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 7980(79800E), 1-10. doi: 10.1117/12.880600
- Rajdi, N. N. Z. M., Bakira, A. A., Saleh, S. M., Wicaksono, D. H. (2012). Textile-based micro electro mechanical system (MEMS) accelerometer for pelvic tilt measurement. *Procedia Engineering*, 41, 532-537. doi:10.1016/j.proeng.2012.07.208
- Raynal, J. (26 octobre 2016). CES Unveiled : 5 innovations techno à ne pas louper à Las Vegas en 5 tweets [Billet de blogue]. Tiré de <https://www.industrie-techno.com/ces-unveiled-5-innovations-techno-a-ne-pas-louper-a-las-vegas-en-5-tweets.46194>
- Reebok. (réalisateur). (2016). *ZPump Fusion 2.0 | See How it Works* [Vidéo en ligne]. Tiré de <https://www.youtube.com/watch?v=Wrr2H7nE1pQ>
- Riedl, R.-M. (2011). Cutting edge smart fabrics. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(5), 4-5.
- Righi, M.-L. (2015). Smart stocking for diabetes treatment. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(7), 8.
- Robinson, J. (2011). Next-generation sensor will save lives of soldiers. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(2), 5.
- Rock, M. et Sharma, V. (2016a). *Brevet canadien n° CA 2904034 A1*. Toronto (CA): Office de la propriété intellectuelle du Canada.
- Rock, M. et Sharma, V. (2016b). *Brevet canadien n° CA 2904754 A1*. Toronto (CA): Office de la propriété intellectuelle du Canada.
- Roh, J. S. (2017). All-fabric interconnection and one-stop production process for electronic textile sensors. *Textile Research Journal*, 87(12), 1–12. doi: 10.1177/0040517516654108
- Roh, J.-S. et Kim, S. (2015). All-fabric intelligent temperature regulation system for smart clothing applications. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 27(9), 1165-1175. doi:10.1177/1045389X15585901
- Rohr, S. (2012). Solar thin films for construction. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(7), 8.
- Röpert, A. (2011). iLightX showcase at *Techtextil*. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(7), 1-2.
- Rosner, G. (2013). Safe and intelligent heat. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(5), 2-3.
- Rubežienė, V., Baltušnikaitė, J., Varnaitė-Žuravliova, S., Sankauskaitė, A., Abraitienė, A. et Matuzas, J. (2015). Development and investigation of electromagnetic shielding fabrics with different electrically conductive additives. *Journal of Electrostatics*, 75, 90-98. doi:10.1016/j.elstat.2015.03.009

- Russell, H. (2012). More helmet sensors for the US army. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(8), 6.
- Ruth, D., Hammond, P., Rudolph, K., Bouclin, J., Johnson, K., Brünler, R., ... Evans, C. L. (2014). To your future E-Health! *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2014(11), 7-12.
- Sadikovic, I. (2015). Lung monitoring with smart fabrics. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(2), 3-4.
- Šafářová, V. et Militký, J. (2014). Electromagnetic shielding properties of woven fabrics made from high-performance fibers. *Textile Research Journal*, 84(12), 1255-1267. doi:10.1177/0040517514521118
- Sahito, I. A., Sun, K. C., Arbab, A. A., Qadir, M. B. et Jeong, S. H. (2015). Graphene coated cotton fabric as textile structured counter electrode for DSSC. *Electrochimica Acta*, 173, 164-171. doi:10.1016/j.electacta.2015.05.035
- Sanjari, H. R., Merati, A. A., Mohammad, S., Varkiyani, H. et Tavakoli, A. (2015). Evaluation of the effect of bending on the resonance frequency of inset-fed rectangular textile patch antenna. *Journal of Industrial Textiles*, 0(00), 1-26. doi:10.1177/1528083715569377
- Sarro, D. (2013). Reebok to launch sports impact indicator. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(2), 7.
- Save, N. S., Jassal, M. et Agrawal, A. K. (2005). Smart Breathable Fabric. *Journal of Industrial Textiles*, 34(3), 139-155. doi:10.1177/1528083705047905
- Sayyed, M. I. (2016). Investigation of shielding parameters for smart polymers. *Chinese Journal of Physics*, 54(3), 408-415. doi:10.1016/j.cjph.2016.05.002
- Schmidt zur Nedden, G. (2015). The rise of e-broidery: Carpetlight. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(6), 2.
- Schönauer, C., Vonach, E., Gerstweiler, G., Kaufmann H. (2013). *3D Building reconstruction and thermal mapping in fire brigade operations*. Communication présentée à 4th Augmented Human International Conference, Stuttgart; Publié dans le Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference (AH '13)", ACM, New York, p.4
- Schwarz, P. G. (2015). Adding electrical muscle stimulation technology to clothing. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(4), 3.
- Scough. (2017). How it Works. Tiré de <https://www.scough.com/pages/how-it-works>
- Sefar AG. (2013). Sefar's fabric for solar cells and sensing. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(5), 4.
- Sensing Tex. (2017). The New Generation Of Pressure Measurement Sensors. Tiré de <http://sensingtex.com/pressure-sensor-tex>
- Seyam, A. F. M. et Hamouda, T. (2013). Smart textiles: Evaluation of optical fibres as embedded sensors for structure health monitoring of fibre reinforced composites. *Journal of The Textile Institute*, 104(8), 892-899. doi:10.1080/00405000.2013.765087
- Seyedin, S., Razal, J. M., Innis, P. C., Jeiranikhameneh, A., Beirne, S. et Wallace, G. G. (2015). Knitted strain sensor textiles of highly conductive all-polymeric fibers. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7(38), 21150-21158. doi:10.1021/acsami.5b04892

- Shanbeh, M. et Emadi, M. (2016). Effect of weft density and percentage of stainless steel fiber content of weft yarn on electrical properties of woven fabric strain sensors. *The Journal of The Textile Institute*, 107(8), 958-966. doi:10.1080/00405000.2015.1072384
- Sharafi, S. et Li, G. (2016). Multiscale modeling of vibration damping response of shape memory polymer fibers. *Composites Part B: Engineering*, 91, 306-314. doi:10.1016/j.compositesb.2015.12.046
- Shi, L., Li, X., Jia, Y., Kong, D., He, H., Wagner, M. , ...Zhi, L. (2016). Continuous carbon nanofiber bundles with tunable pore structures and functions for weavable fibrous supercapacitors. *Energy Storage Materials*, 5, 43-49. doi:10.1016/j.ensm.2016.05.009
- Siegl, V. (2012). Smart textiles for firefighters. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(1), 7.
- Signer, D. (2011). Reloadable drug delivery textile from Schoeller. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(5), 7.
- Simon, E. (2012). Anti-theft system with smart fabric. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(10), 3-4.
- Skallerud, S. (2012). Perfect cold beer with phase change material panels. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2012(9), 16.
- Smith, D. L., Arena, L., DeBlois, J. P., Haller, J. M., Hultquist, E. M., Lefferts, W. K., ...Fehling, P. C. (2013). Effect of base layer materials on physiological and perceptual responses to exercise in personal protective equipment. *Applied Ergonomics*, 45(3), 428-436. doi:10.1016/j.apergo.2013.06.001
- Smith, P. (1968). *Body Covering*. New York, NY: Museum of Contemporary Crafts, the American Craft Council.
- Smith, S. (1^{er} juin 2015). Magnetic Fabrics Could Let You Change Clothes Instantly [Billet de blogue]. Tiré de https://wtvox.com/2015/06/magnetic-fabrics-could-let-you-change-clothes-instantly/?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter
- Soleno Textiles. (2017). Thermastrom^{MC}. Tiré de <http://www.solenotextiles.com/fr/thermastrom>
- Standoli, E. C., Guarneri, M. R., Perego, P., Mazzola, M., Mazzola, A. et Andreoni, G. (2016). A smart wearable sensor system for counter-fighting overweight in teenagers. *Sensors*, 16(8), 1120. doi:10.3390/s16081220
- Stegmaier, T. (2013). The Icebear—a hothouse of innovation. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(6), 1-2.
- Stempien, Z., Rybicki, E., Rybicki, T. et Kozanecki, M. (2016). Reactive inkjet printing of PEDOT electroconductive layers on textile surfaces. *Synthetic Metals*, 217, 276-287. doi:10.1016/j.synthmet.2016.04.014
- Stempien, Z., Rybicki, E., Rybicki, T. et Lesnikowski, J. (2016). Inkjet-printing deposition of silver electro-conductive layers on textile substrates at low sintering temperature by using an aqueous silver ions-containing ink for textronic applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 224, 714-725. doi:10.1016/j.snb.2015.10.074
- Stobbe, A. (2011). *Brevet américain n°US 7958713 B2*. Barsinghausen (DE): United States Patent and Trademark Office.

- Suh, M., Carroll, K. E., Grant, E. et Oxenham, W. (2013). Effect of fabric substrate and coating material on the quality of conductive printing. *The Journal of the Textile Institute*, 104(2), 213–222. doi:10.1080/00405000.2012.714107
- Suh, M., Carroll, K. E., Grant, E. et Oxenham, W. (2014). Investigation into the feasibility of inductively coupled antenna for use in smart clothing. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 26(1), 25-37. doi:10.1108/IJCST-10-2012-0064
- Sun, X.-Z., Brandford-White, C., Yu, Z. W. et Zhu, L. M. (2015). Development of universal pH sensors based on textiles. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 74(3), 641-649. doi:10.1007/s10971-015-3643-2
- Swallow, S. S. et Peta-Thompson, A. (2013). *Brevet américain n° US 2013/0020313 A1*. Laleham (GB): United States Patent and Trademark Office.
- Schwar, R. C. et Wainwright, H. L. (1998). *Apparatus for implanting optical fibers in fabric panels*. *Brevet américain n° 5738753*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Syrový, T., Kazda, T., Syrová, L., Vondrák, J., Kubáč, L. et Sedlaříková, M. (2016). Cathode material for lithium ion accumulators prepared by screen printing for Smart Textile applications. *Journal of Power Sources*, 309, 192-201. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.01.089
- Tan, A. M., Fuss, F. K., Weizman, Y. et Troynikov, O. (2015). Development of a smart insole for medical and sports purposes. *Procedia Engineering*, 112, 152-156. doi:10.1016/j.proeng.2015.07.191
- Tao X. (édit.). (2001). *Smart fibres, fabrics and clothing*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Ltd et CRC Press LLC.
- Tao, X., Leung, M.-Y., Yuen, C.-W., Kwok, W.-Y. et Ho, H.-L. (2009). *Brevet américain n° US 7531203 B2*. Kowloon, Hong Kong SAR (CN): United States Patent and Trademark Office.
- Textiles for Ageing Society. (2012). WarmX – Warming Textiles. Tiré de <http://www.textilesforageingsociety.eu/about-us/partners/warmx/>
- Textronics. (2017a). Markets: Health & Wellness. Tiré de <http://www.textronicsinc.com/markets/health-wellness>
- Textronics. (2017b). Markets: Military & Public Safety. Tiré de <http://www.textronicsinc.com/markets/military-public-safety>
- Textronics. (2017c). Markets: Sports & Fitness. Tiré de <http://www.textronicsinc.com/markets/sports-fitness>
- Thangakameshwaran, N. et Santhoskumar, A. U. (2014). Cotton fabric dipped in carbon nano tube ink for smart textile applications. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 63(11), 557-562. doi:10.1080/00914037.2013.854227
- Tibtech innovations. (2010). Fils, Rubans craqués, tops et autres Textiles Techniques en fibres d'acier inoxydable, alliages spéciaux ou mélanges. Tiré de <http://www.tibtech.com/fr/produits.php#spunyarnsf>

- Tien, S.-C., Lee, R.-G., Feng, Y.-Y., Huang, S.-F., Chang, W.-H. et Lee, T.-Y. (2014). *Smart Textiles applied in emergency department patients with chest pain*. Communication présentée à 2014 IEEE International Symposium on Bioelectronics and Bioinformatics, IEEE ISBB 2014, Chung Li, Taïwan (p. 1-4). doi:10.1109/ISBB.2014.6820933
- Tilander, S. et Touhey, C. (2015). Award for Hilfiger smart fabrics. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(12), 2.
- Tolvanen, J., Hannu, J., Palosaari, J., Nelo, M. et Jantunen, H. (2016). Screen-printed mechanical switch based on stretchable PU-foam film. *Electronic Letters*, 52(16), 1395-1397. doi:10.1049/el.2016.2002
- Trepanier, S. (2011). The heat is on.... *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2011(3), 1-2.
- Trichur, R. (18 juin 2011). The high-tech rebirth of Canada's textile industry [Billet de blogue]. Tiré de <https://www.theglobeandmail.com/report-on-business/economy/the-high-tech-rebirth-of-canadas-textile-industry/article583631/?page=all>
- Trindade, I., Martins, F. et Baptista, P. (2015). High electrical conductance poly (3, 4-ethylenedioxythiophene) coatings on textile for electrocardiogram monitoring. *Synthetic Metals*, 210(B), 179-185. doi:10.1016/j.synthmet.2015.09.024
- Trindade, I., Martins, F., Dias, R., Oliveira, C. et da Silva, J. M. (2015). *Novel textile systems for the continuous monitoring of vital signals: design and characterization*. Communication présentée à 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, Milan, Italie (p. 3743-3746). doi:10.1109/EMBC.2015.7319207
- Trupp, S. (2013). Colour-changing gloves for toxic-substance detection. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(9), 11.
- Tuxboard. (23 octobre 2014). Radiate, un t-shirt qui indique les muscles qui travaillent [Billet de blogue]. Tiré de <https://www.tuxboard.com/radiate-tshirt-thermique/#>
- Under Armour. (2017). Stay Moving. Tiré de <https://www.underarmour.com/en-us/technology/fabric-and-footwear?iid=bucket#stay-moving>
- Uniforms-i. (s. d.) Medical Uniforms Get Smarter, Work Harder . Tiré de <http://uniforms-i.com/medical-uniforms.html>
- University of Technology Sydney. (2014). Simavita: a smart way to manage incontinence. Tiré de <https://www.uts.edu.au/research-and-teaching/industry-partnerships/ways-engage/funding-schemes/techvouchers/case-studies-0>
- Usma, C., Kouzani, A. Z., Chua, J. J. C., Arogbonlo, A., Adams, S. et Gibson, I. (2015). Fabrication of force sensor circuits on wearable conductive textiles. *Procedia Technology*, 20, 263-269. doi:10.1016/j.protcy.2015.07.042
- Uzun, M., Sancak, E. et Usta, I. (2015). *The use of conductive wires for smart and protective textiles*. communication présentée à The 5th IEEE International Conference on E-Health and Bioengineering, EHB 2015, Iași, Roumanie, (p. 1-4). doi:10.1109/EHB.2015.7391494
- Vaillancourt, S. (8 octobre 2012). [Test] Sac à main LUX de Joanel [Billet de blogue]. Tiré de <http://www.letechnophile.net/2012/10/08/test-sac-a-main-lux-de-joanel/>

- Van Keymeulen, B. (2016). *Brevet international n° WO 2016/050525 A1*. Leuven (BE): World Intellectual Property Organization.
- Varadan, V. K., Pratyush, R., Kumar, P. S., Mathur, G. N. et Agarwal, M. P. (2013). *Brevet américain n° US 2013/0211208 A1*. Fayetteville, AR (US): United States Patent and Trademark Office.
- Velani, N., Wilson, O., Halkon, B. J. et Harland, A. R. (2012). Measuring the risk of sustaining injury in sport a novel approach to aid the re-design of personal protective equipment. *Applied Ergonomics*, 43(5), 883-890. doi:10.1016/j.apergo.2011.12.010
- Vestechpro. (2016). *Outil de référence sur l'expertise canadienne en vêtement intelligent*. Montréal : Centre de recherche et d'innovation en habillement.
- Vigano, D. (2015). Running systems from Sensoria. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(10), 6.
- Voix, J. (2017). *The ear beyond hearing: From smart earplug to in-ear brain computer interfaces*. Communication présentée à 24th International Congress on Sound and Vibrations, London, Royaume-Uni. (p. 1-11).
- Vukusic, P. (2013). Fibre that changes colour when stretched. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(3), 3-4.
- Walsh, C. J. (2014). New Balance working with soft exosuit team. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2014(10), 3.
- Wang, L., Loh, K. J. et Koo, H. S. (2016). Sensing human physiological response using wearable carbon nanotube-based fabrics. *Proceedings of SPIE*, 9805, 1-9. doi:10.1117/12.2219519
- Wang, Q., Chen, W., Timmermans, A. A., Karachristos, C., Martens, J. B. et Markopoulos, P. (2015). *Smart Rehabilitation Garment for Posture Monitoring*. Communication présentée à 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Milan, Italie (p. 5736-5739). doi:10.1109/EMBC.2015.7319695
- Wang, S. X., Li, Y., Hu, J. Y., Tokura, H. et Song, Q. W. (2006). Effect of phase-change material on energy consumption of intelligent thermal-protective clothing. *Polymer Testing*, 25(5), 580-587. doi:10.1016/j.polymertesting.2006.01.018
- Wang, Z., Huang, Y., Sun, J., Huang, Y., Hu, H., Jiang, R., ... Zhi, C. (2016). Polyurethane/Cotton/Carbon Nanotubes Core-Spun Yarn as High Reliability Stretchable Strain Sensor for Human Motion Detection. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(37), 24837-24843. doi:10.1021/acsami.6b08207
- Wegene, J. D. et Thanikaivelan, P. (2014). Conducting Leathers for Smart Product Applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(47), 18209-18215. doi:10.1021/ie503956p
- Wei, Y., Torah, R., Li, Y. et Tudor, J. (2016). Dispenser printed capacitive proximity sensor on fabric for applications in the creative industries. *Sensors and Actuators A: Physical*, 247, 239-246. doi:10.1016/j.sna.2016.06.005
- Weigelt, G. (2015). CareJack helps with the lifting. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(4), 5-6.

- Wen, Z., Yeh, M.-H., Guo, H., Wang, J., Zi, Y., Xu, W.,... Wang, Z. L. (2016). Self-powered textile for wearable electronics by hybridizing fiber-shaped nanogenerators, solar cells, and supercapacitors. *Sciences Advances*, 2(10), 1-8. doi:10.1126/sciadv.1600097
- Weremczuk, J., Tarapata, G. et Jachowicz, R. (2012). Humidity sensor printed on textile with use of ink-jet technology. *Procedia Engineering*, 47, 1366-1369. doi:10.1016/j.proeng.2012.09.410
- Wittkowski, T. (2013a). *Brevet américain n° US 2013/0075381 A1*. Echemach (LU): United States Patent and Trademark Office.
- Wittkowski, T. (2013b). Dual-purpose automotive smart fabric. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2013(6), 3-4.
- Woik, L. (7 juillet 2014). "ambiotex" High-Tech Shirt Premieres in San Francisco [Billet de blogue]. Tiré de <http://www.businesswire.com/news/home/20140707005684/en/ambiotex-High-Tech-Shirt-Premieres-San-Francisco>
- Wu, B., Zhang, B., Wu, J., Wang, Z., Ma, H., Yu, M., ...Li, J. (2015). Electrical switchability and dry-wash durability of conductive textiles. *Scientific Reports*, 5, 11255. doi:10.1038/srep11255
- Wu, C., Kim, T. W., Li, F. et Guo, T. (2016). Wearable electricity generators fabricated utilizing transparent electronic textiles based on polyester/Ag nanowires/graphene core-shell nanocomposites. *ACS Nano*, 10(7), 6449-6457. doi:10.1021/acsnano.5b08137
- Wu, J., Jiang, Y., He, J., Zhao, S., Cai, G. et Wang, J. (2015). Thermo-responsive poly (N-isopropylacrylamide) grafted polyester textiles with switchable surface wettability. *Textile Research Journal*, 86(7), 677-684. doi:10.1177/0040517515599748
- Xie, J., Long, H. et Miao, M. (2016). High sensitivity knitted fabric strain sensors. *Smart Materials and Structures*, 25(10), 105008. doi:10.1088/0964-1726/25/10/105008
- Xsens. (2014). Three-dimensional motion tracking for astronauts. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2014(11), 4-5.
- Xu, F., Zhu, H., Ma, Y. et Qiu, Y. (2016). Electromagnetic performance of a three-dimensional woven fabric antenna conformal with cylindrical surfaces. *Textile Research Journal*, 87(2), 147-154. doi:10.1177/0040517515624878
- Yamashita, T., Takamatsu, S., Miyake, K. et Itoh, T. (2012). Fabrication and evaluation of a conductive polymer coated elastomer contact structure for woven electronic textile. *Sensors and Actuators A: Physical*, 195, 213-218. doi:10.1016/j.sna.2012.09.002
- Yang, C., Wang, J. et Li, L. (2016). A novel approach for developing high thermal conductive artificial leather by utilizing smart electronic materials. *Textile Research Journal*, 87(7), 816-828. doi: 10.1177/0040517516641356
- Yang, K., Torah, R., Wei, Y., Beeby, S. et Tudor, J. (2013). Waterproof and durable screen printed silver conductive tracks on textiles. *Textile Research Journal*, 83(19), 2023-2031. doi:10.1177/0040517513490063
- Yang, Y., Sun, R. et Wang, X. (2016). Ag nanowires functionalized cellulose textiles for supercapacitor and photothermal conversion. *Materials Letters*, 189, 248-251. doi:10.1016/j.matlet.2016.12.024

- Yoon, S. H., Huo, K. et Ramani, K. (2016). Wearable textile input device with multimodal sensing for eyes-free mobile interaction during daily activities. *Pervasive and Mobile Computing*, 33, 17-31. doi:10.1016/j.pmcj.2016.04.008
- Young, M. (2014). *Adaptive Survival Clothing by Jacqueline Nanne Regulates Temperature*. Trend Hunter Inc. Tiré de <https://www.trendhunter.com/trends/adaptive-survival-clothing>
- Yun, Y. J., Hong, W. G., Kim, D. Y., Kim, H. J., Jun, Y. et Lee, H.-K. (2016). E-textile gas sensors composed of molybdenum disulfide and reduced graphene oxide for high response and reliability. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 248, 829-835. doi:10.1016/j.snb.2016.12.028
- Zafar, M., Shah, T., Rawal, A. et Siores, E. (2014). Preparation and characterisation of thermoresponsive nanogels for smart antibacterial fabrics. *Materials Science and Engineering: C*, 40, 135-141. doi:10.1016/j.msec.2014.03.033
- Zhai, S., Jiang, W., Wei, L., Karahan, H. E., Yuan, Y., Ng, A. K. et Chen, Y. (2015). All-carbon solid-state yarn supercapacitors from activated carbon and carbon fibers for smart textiles. *Materials Horizons*, 2(6), 598605. doi:10.1039/c5mh00108k
- Zhang, H. et Dias, T. K. (2015). Electromechanical properties of knitted fabric integrated with laser engraved carbon-loaded fiber. *The Journal of The Textile Institute*, 107(6), 733-742. doi:10.1080/00405000.2015.1061759
- Zhao, Y., Cai, Z., Fu, X., Song, B. et Zhu, H. (2013). Electrochemical deposition and characterization of copper crystals on polyaniline/poly (ethylene terephthalate) conductive textiles. *Synthetic Metals*, 175, 1-8. doi:10.1016/j.synthmet.2013.04.018
- Zhou, B., Cheng, J., Sundholm, M., Reiss, A., Huang, W., Amft, O. et Lukowicz, P. (2015). *Smart Table Surface: A Novel Approach to Pervasive Dining Monitoring*. Communication présentée à 2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, PerCom, Saint-Louis, MO, États-Unis (p. 155-162). doi:10.1109/PERCOM.2015.7146522
- Zhou, B., Sundholm, M., Cheng, J., Cruz, H. et Lukowicz, P. (2016). Measuring muscle activities during gym exercises with textile pressure mapping sensors. *Pervasive and Mobile Computing*, 38, doi:10.1016/j.pmcj.2016.08.015
- Zhou, Q., Jia, C., Ye, X., Tang, Z. et Wan, Z. (2016). A knittable fiber-shaped supercapacitor based on natural cotton thread for wearable electronics. *Journal of Power Sources*, 327, 365-373. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.07.048
- Zimmermann, J. (2015). The rise of e-broidery: tshirtOS. *Smart Textiles and Nanotechnology*, 2015(6), 4.
- Zysset, C., Kinkeldei, T., Münzenrieder, N., Petti, L., Salvatore, G. et Tröster, G. (2013). Combining electronics on flexible plastic strips with textiles. *Textile Research Journal*, 83(11), 1130-1142. doi:10.1177/0040517512468813

ANNEXE A : DOCUMENT PRÉPARATOIRE EXPÉDIÉ AUX PARTICIPANTS AUX RENCONTRES DE GROUPES



Analyse du potentiel d'application des textiles intelligents en santé et sécurité au travail Projet IRSST # 2016-028

Liste de questions préparatoires aux discussions

Problématiques en SST liées à l'usage de textiles traditionnels

Les textiles et matériaux souples traditionnels ont des performances fixes dans le temps et qui ne peuvent pas s'ajuster en fonction des conditions rencontrées.

1. Pouvez-vous décrire des problèmes en SST liés à l'usage de textiles et matériaux souples traditionnels ?
2. Quels domaines d'activité sont concernés ?
3. Quels types de travailleurs sont concernés ?
4. Quel est le nombre de travailleurs concernés ?
5. Quelle est la solution actuelle mise en place ?
6. Est-ce qu'il y a d'autres contraintes (liées par exemple au prix, à l'environnement de travail (température élevée, risque de choc électrique, etc.) ?

Problématiques existantes ou potentielles en SST liées à l'usage des textiles intelligents

Les textiles intelligents sont des structures capables de détecter, réagir et s'adapter à un grand nombre de stimuli : électriques, magnétiques, thermiques, optiques, acoustiques, mécaniques, chimiques, etc. Ils peuvent par exemple être utilisés pour le suivi du rythme cardiaque et de la respiration, pour neutraliser les espèces chimiques ou biologiques toxiques déposées sur leur surface, pour réguler la température du porteur du vêtement ou pour contrôler la posture.

1. Utilisez-vous ou avez-vous été en contact avec des produits utilisés en SST qui contiennent des textiles et matériaux souples intelligents ?
2. Si oui,
 - a. Quels sont ces produits ?
 - Nom commercial et manufacturier
 - petit descriptif
 - nature du stimulus (électrique, chimique, mécanique, thermique, optique, magnétique, acoustique, etc.)
 - b. Dans quelles circonstances/conditions/domaine d'activité ont-ils été utilisés ?
 - c. Est-ce que des problèmes liés à leur utilisation ont été notés ?
3. Si non, avez-vous connaissance de tels produits qui peuvent répondre à des problématiques dans votre domaine ?



ANNEXE B : ENTREPRISES CANADIENNES ACTIVES DANS LE DOMAINE DES TEXTILES INTELLIGENTS

Nom de l'entreprise	Descriptif	Site web
4iiii Innovations	Développement de technologies améliorant le rendement sportif et la sécurité des athlètes (appareils de suivi).	http://4iiii.com/
5G Energy	Gestion énergétique intelligente pour la réduction de l'intensité énergétique et de l'empreinte carbone des organismes, ainsi que la réduction du volume des déchets.	http://5genergy.ca/
AIRO	Bracelet de suivi de santé qui surveille le nombre de calories ingérées et dépensées durant la journée.	www.getairo.com
BioMindR	Bracelet qui surveille l'hydratation, la concentration de glucose et d'électrolytes dans le sang et la fréquence cardiaque (sport).	www.biomindr.com
Bionym	Bracelet qui authentifie l'identité d'un utilisateur grâce à son électrocardiogramme (biométrie) (milieu du travail).	https://nyimi.com
BodiTrack	Fabricant de technologie sur mesure : capteurs de casque et d'angle extensibles, tissus sensibles à la pression, petits interrupteurs de fils.	www.pressuremapping.com
Braebon Medical	Fournisseur de capteurs, d'accessoires, d'enregistreurs de ronflement et d'appareils intraoraux pour le milieu médical.	www.braebon.com
Celestica	Fabricant et fournisseur de services dans le domaine de l'électronique. Aide des compagnies à développer des produits.	www.celestica.com
Comfable	Station météorologique portable qui mesure l'exposition UV et la température en temps réel, pour transmettre les données importantes à l'utilisateur, afin de lui permettre de se protéger du soleil.	https://comfable.com/
CommandWear Systems	Application de suivi et de communication d'alertes pour les premiers répondants (peut être adapté à d'autres marchés).	https://commandwear.com/
Ear-o-Smart	Papillon de boucle d'oreille qui mesure la fréquence cardiaque, les calories dépensées et le niveau d'activité.	www.shopjoule.com

Nom de l'entreprise	Descriptif	Site web
Engage Biomechanics	Accessoire pour patients alités qui détecte leur position et les incite à adopter une position appropriée, afin de réduire les plaies de lit.	www.engagebiomechanics.com
eSight	Lunettes qui rehaussent ce que l'utilisateur perçoit afin de maximiser la vision résiduelle.	www.esighteyewear.com
Fatigue Science	Bracelet et application qui mesurent et transmettent des données sur le sommeil pour réduire les risques de blessures ou d'accidents (sport, militaire, industrie du transport).	www.fatiguescience.com
FilSpec	Fabrication de fils textiles techniques haute performance, incluant des fils conducteurs et antimicrobiens, pour des utilisations variées.	www.filspec.com
Fired Up X Heated Apparel	Vêtements chauffants qui utilisent la technologie de l'infrarouge lointain pour fournir de la chaleur.	https://firedupx.com
Greybox Solutions	Accessoires qui mesurent le poids, le taux de gras, la fréquence cardiaque, la distance parcourue, les pas, le temps, les calories et la glycémie avec un profil personnalisé et un accompagnateur virtuel.	www.greybox.ca
Heddoko	Combinaison captant et analysant les données des mouvements humains pour réduire les blessures et améliorer la performance.	www.heddoko.com
Hexoskin	Chandail qui mesure la fréquence cardiaque, le sommeil, la respiration et l'intensité des activités faites durant la journée.	www.carretechnologies.com
Icebear hothouse	Textile qui agit comme la fourrure d'un ours polaire en absorbant la lumière pour créer de l'énergie thermique.	www.ditf.de
IF Tech	Chandail multisensoriel, multidirectionnel qui interagit avec l'utilisateur pour augmenter son immersion basée sur la situation et les interactions entre le médium (film, jeu vidéo, entraînement) et lui.	https://iftech-technologies.com/
iMerciv	Accessoire de détection d'obstacles pour personnes non voyantes, qui utilise la technologie des ultrasons et vibre en détectant un obstacle.	www.imerciv.com

Nom de l'entreprise	Descriptif	Site web
Iron Will Innovations	Gant réglable sur mesure qui permet à l'utilisateur de contrôler des jeux PC et diverses applications.	http://theperegrine.com/
Jannatec Technologies	Technologie de détection de proximité, Casque connecté qui alerte les miniers de danger aux alentours. Combinaison de travail qui surveille les signes vitaux du minier et génère une forme de refroidissement qui contre-balance les effets de la chaleur extrême en profondeur	www.jannatec.com
Kinesix Sports	Veste chauffante dont la température est contrôlée par le téléphone intelligent de l'utilisateur selon ses besoins ou sa volonté.	www.kinesixsports.com
Kiwi Wearable Technologies	Surveillance du tabagisme, de la fréquence, de l'endroit, du moment, du progrès. L'intelligence artificielle calcule l'argent économisé et transforme les points d'amélioration en crédit Uber pour motiver l'utilisateur à arrêter de fumer.	https://kiwi.ai/
La Société 3M Canada	Fabrication, recherche et développement de produits utilisés dans divers domaines (consommation, industrie, sécurité, santé, graphisme, etc.)	www.3mcanada.ca
Laipac Technology	Localisation GPS par un appareil sur une personne, un véhicule ou un bien.	www.laipac.com
LifeBooster	Appareil de prévention des troubles musculosquelettiques, alertes en cas de postures/mouvements à haut risque.	http://lifebooster.ca/
MELEDii	Semelle instructive faisant le suivi en temps réel des métriques liés à la santé.	www.meledii.com
Memtronik Innovations	Faces graphiques, écrans tactiles, claviers capacitifs et à membrane, électronique imprimée.	www.memtronik.com
Mio Global	Montre sport qui, selon la fréquence cardiaque captée, indique un degré d'activité nécessaire pour rester en santé.	www.mioglobal.com
MW Canada	Recouvrements de fenêtres, filtres, matériaux composites et matériaux liés à l'énergie.	www.mwcanada.com
Myant	Intégration de la technologie au textile.	www.myant.ca
Neutun	Application de suivi (fréquence des crises, médication, partage de ces données aux proches) pour personnes épileptiques.	www.neutun.com

Nom de l'entreprise	Descriptif	Site web
NEX Band - Mighty Cast	Bracelet connecté au nuage et au téléphone de l'utilisateur pouvant accomplir plusieurs tâches (liées au téléphone, domotique).	www.thenexband.com
NGTronix Industries	Système de détection de signes avant-coureurs de chute chez les personnes âgées.	http://ngtronix.ca/
Ollinfit	DéTECTEURS portables liés à une application portable qui guident l'entraînement par la surveillance et l'analyse du corps.	www.ollinfit.com
OMsignal	Brassière de sport qui capte la fréquence cardiaque et le rythme respiratoire pour guider l'entraînement par l'intermédiaire d'un iPhone.	www.omsignal.com
ONEGA	Conception de vêtements intelligents et de logiciels intelligents pour la recherche en santé et en suivi de performance.	www.onegaprotective.com
Onyx Motion	Entraîneur numérique qui indique comment l'utilisateur joue et comment s'améliorer aux moments critiques.	https://onyxmotion.com/
Orpyx Medical	Semelle et montre qui détectent le manque de circulation sanguine, l'engourdissement aux pieds ou un manque de sensation pour réduire les risques d'amputation ou d'ulcères des pieds.	https://orpyx.com/
O-Synce	Casquette pouvant projeter (et enregistrer) des données (rythme cardiaque, vitesse, distance, etc.) dans le champ de vision de l'utilisateur (sport).	www.o-synce.com
Plantiga	Capteur pour chaussures qui mesure les mouvements pour la prévention de blessures (tout public).	www.plantiga.com
PROXXI	Portable industriel qui surveille et alerte les travailleurs à proximité d'une source de voltage moyen ou élevé en cas de danger.	www.proxxiband.com
PUSH	Bracelet et logiciel d'entraînement de performance pour mesurer les statistiques d'entraînement (athlète et entraîneur).	www.trainwithpush.com
QuantiScience	Logiciels et accessoires qui utilisent les données portables pour faire un portrait de la vie des employés dans leur milieu de travail.	www.quanti.science
Recon Instruments	Production d'accessoires intelligents (lunettes de protection, de ski, de vélo, etc.)	www.reconinstruments.com

Nom de l'entreprise	Descriptif	Site web
ReFlex Wireless	Fournisseur de capteurs sans fils et de logiciels analytiques pour des applications dans le domaine de la santé.	www.reflexwireless.com
Regitex	Fabrication de fil à jet d'air, filé, <i>filé ouvert</i> , OptiSpun, conducteurs.	http://regitex.com/
Salu Design	Bracelet qui mesure la fréquence cardiaque, le rythme respiratoire et l'activité pour améliorer la performance sportive.	www.salu.ca
SeeHorse	Accessoire de surveillance des signes vitaux, du mouvement et de l'activité des chevaux dans le milieu équestre.	http://seehorse.ca/
Sensaura Tech	Logiciel de reconnaissance des émotions à partir de la détection de signaux physiologiques.	www.sensauratech.com
Sense Tecnic Systems	Plateforme de développement de solutions 'Internet des objets' (Internet of Things; IoT).	http://sensetecnic.com/
SensiMat	Coussin de gestion de la pression relié au téléphone intelligent pour les utilisateurs de fauteuils roulants.	www.sensimatsystems.com
Shefford Textiles	Distributeur de produits textiles sous forme de fils naturel et synthétique. Fils antimicrobiens. Fournisseur de fil conducteur.	http://www.sheffordtextile.com
SmartHalo	Accessoire lumineux que l'on fixe sur le guidon du vélo et qui dirige l'utilisateur, allume automatiquement une lumière de visibilité la nuit, déclenche une alarme en cas de vol et peut être un accompagnateur et assistant personnel.	www.smarthalo.bike
Solenot Textiles	Concepteur et fabricant de textiles non tissés chauffants.	www.solenottextiles.com
Sonic Wear	Capteur portable qui transforme les mouvements en musique pour inspirer le mouvement créatif.	www.sonicwear.ca
SubPac	Technologie portable qui fait pulser le son à travers le corps de l'utilisateur, afin de permettre une sensation accrue de la musique.	http://subpac.com/

Nom de l'entreprise	Descriptif	Site web
TELUS Santé	Technologie qui vise à améliorer les résultats de santé en reliant les médecins et les autres professionnels de la santé avec leurs patients et en permettant également l'exploitation de l'information pour que la prévention et le bien-être soient plus accessibles à tous.	www.telushealth.co
Thalmic Labs	Bracelet qui mesure l'activité électrique des muscles afin de contrôler sans fil les technologies numériques.	www.thalmic.com
TritonWear	Portable pour nageurs de compétition (ou sportifs) qui donne des informations sur les performances aux entraîneurs et aux sportifs.	www.tritonwear.com
Wiivv	Semelles intérieures orthopédiques faites sur mesure par une application qui aide à créer la semelle parfaite pour l'utilisateur.	https://wiivv.com/