

Smart Safety Shirt S³

Vêtement intelligent pour cyclistes

François Eymond, Abdel Feliachi, Redha Benameur, Nathalie Morette, Wilson Raumel, Soufiane Denane

Abstract—Cet article présente la conception du Smart Safety Shirt, un T-shirt intelligent dont le principal but est d'améliorer la sécurité des cyclistes sur la route. Ce T-shirt a été spécialement conçu pour l'incorporation de capteurs, d'un système de communication sans fil pour le transfert de l'information, le suivi des performances ainsi que d'un affichage lumineux comme moyen d'interaction avec l'environnement extérieur. Le matériel utilisé ainsi que les différents blocs de sa réalisation sont détaillés dans cet article. Enfin, les perspectives du projet Smart Safety Shirt, en tant que vêtement s'intégrant sur le marché du textile intelligent seront discutées.

Keywords—Smart textiles; Wearable Electronic Systems; e-textiles ; connected cloth ; smart shirt; textile intelligent; textile connecté; textile interactif ; électronique embarquée; sensors; Arduino; FLORA

I. INTRODUCTION

La protection et l'esthétique sont les deux attributs les plus souvent associés aux textiles en tant que « vêtements ». Avec une demande croissante des besoins quotidiens des consommateurs en matière de santé, de confort et de sécurité, une troisième dimension est en train d'émerger - celle de « l'intelligence » - et se trouve de plus en plus intégrée dans les industries pour produire des textiles interactifs ou *smart textiles*. Ce nouveau type de système électronique portable s'est grandement démocratisé et se trouve à présent destiné à des applications innovantes dans les domaines de la santé, de la sécurité, du sport jusqu'au champ de la mode. Le marché du textile est en effet de plus en plus tourné vers le « quantified self » qui consiste à mesurer ses données physiologiques (rythme cardiaque, température corporelle, calories brûlées, etc.) pour accompagner les quêtes de performance chez les sportifs. Le but de ce projet était de se positionner au sein de cette tendance actuelle en apportant en plus, une solution de sécurité pour les cyclistes, amateurs ou sportifs, se déplaçant en ville ou sur routes de campagne. En effet, l'engouement pour le vélo n'a jamais été aussi fort dans la capitale parisienne. En dix ans, le nombre de vélo en circulation dans les rues de Paris a triplé. Aujourd'hui, près d'un cycliste sur deux affirme avoir déjà eu un accident. La question de la sécurité cycliste apparaît ainsi urgente. Parmi les quelques 700 accidents cyclistes recensés à Paris en 2012, plus d'un accident sur deux implique une voiture mais il existe aussi une forte proportion d'accidents cyclistes n'impliquant aucun autre type de véhicule et correspondant majoritairement à des chutes.

Ainsi, le Smart Safety Shirt est un dispositif permettant de renforcer la sécurité des cyclistes grâce à un système d'affichage lumineux situé au dos du maillot permettant d'indiquer aux autres usagers de la route changements de direction et freinage d'arrêt d'urgence et rendant le cycliste davantage visible pour les automobilistes. La question de la consommation énergétique du système a également été prise en compte au cours de ce travail.

II. MATERIEL ET REALISATION

A. Fonctionnement du système

Le système s'appuie principalement sur la communication Radiofréquence bidirectionnelle entre la carte Arduino FLORA du maillot et le microcontrôleur Feather du guidon. Grâce à un boîtier fixé sur le guidon, le cycliste peut indiquer ses changements de direction (à l'aide de l'interrupteur 3 positions placé à droite du boîtier). La carte Feather du guidon communique cette information à la FLORA du maillot grâce aux modules RF émetteur du guidon et récepteur du maillot. Ainsi une flèche droite ou gauche s'affiche sur la matrice de Neopixels au dos du maillot. L'accéléromètre intégré au maillot détecte une variation brusque d'accélération du cycliste en cas de freinage d'urgence et communique cette information à la FLORA qui commande l'affichage d'un signal d'arrêt d'urgence sur la matrice de Neopixels. De plus, le capteur de luminosité ambiante régule l'intensité lumineuse des Neopixels afin que ceux-ci aient une luminosité moindre par temps sombre ou par temps de nuit et une luminosité accrue en plein soleil. Ceci a pour but de réduire la consommation énergétique du système. Les données du rythme cardiaque du cycliste sont communiquées au microcontrôleur du guidon via les modules RF émetteur du maillot et récepteur du guidon. Ces données de rythme cardiaque ainsi que celles du GPS fixé sur le guidon sont enregistrées dans la carte mémoire du Feather. Celles-ci peuvent ainsi être récupérées par le cycliste, chargées sur son ordinateur et visualisées grâce à un programme dont l'interface présente une carte qui retrace le trajet du cycliste ainsi que les courbes des données de son rythme cardiaque correspondant à chacune de ses courses.

B. Le matériel utilisé

- La carte Adafruit FLORA

Le Smart Safety Shirt est un maillot pour cycliste comportant une carte Adafruit FLORA (fig.1.)

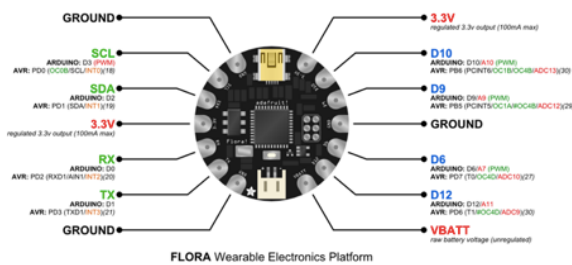


Fig.1. La carte FLORA

FLORA est un module rond, spécialement conçu pour être cousu au textile au moyen d'un fil conducteur en acier inoxydable et comporte un microcontrôleur AT mega 32 u4. Son principal avantage est sa petite taille (45 mm de diamètre), et son poids très léger (4,4 grammes). Ce microcontrôleur est Arduino compatible de telle sorte que les codes implémentés ont été réalisés sur l'environnement de développement intégré ARDUINO. FLORA se relie simplement à un ordinateur via USB et un câble mini-B USB et peut être programmée directement depuis l'ordinateur. Cette plateforme délivre une tension d'alimentation de 3,3V ou 5V(via le pin VBATT) aux modules et capteurs qui lui sont connectés. Sa consommation énergétique est estimée à 100mA. La plateforme FLORA est le cœur de notre système. Elle est connectée à ces différents modules:

- la matrice de 10 LEDs Neopixels dont les couleurs peuvent être modifiées suivant les composantes Rouge, Vert et Bleu, reliée à la carte avec une alimentation de 5V via le pin VBATT
- un capteur de luminosité
- un accéléromètre
- deux modules de communication RF émetteur-récepteur
- un détecteur de rythme cardiaque

- La matrice de 10 Neopixels RGB FLORA

Un système d'affichage lumineux au dos du maillot sera composé d'une matrice de 10 Neopixels à LEDs RGB. Les 10 Neopixels RGB sont spécialement conçus pour les dispositifs portables. Ces Neopixels peuvent être connectés en série et ceci grâce à la présence du WS2812 qui nous permet d'utiliser seulement 1 pin et 1 seul fil pour contrôler l'ensemble de la matrice de Neopixels. Ils peuvent être facilement cousus, sans devoir entrelacer les fils. La matrice de Neopixels est utilisée comme "output device" et sert à communiquer les informations du cycliste au monde extérieur. Elle consomme 550 mA environ, ce qui représente la consommation énergétique la plus importante de notre système.

Les capteurs que nous allons intégrer au textile ont l'avantage d'être très légers, de petite taille et très peu gourmands en énergie.

- Le capteur de luminosité TSL2561 FLORA

Ce capteur de luminosité est idéal pour une utilisation dans une large gamme de situations lumineuses. Il détecte des plages de luminosité allant de 0,1 à 40,000 Lux. TSL2561 utilise un protocole de communication I2C. Le fil conducteur connecte ses pins SDA/SCL aux pins adjacents SDA/SCL de la FLORA et sont alimentés en 3,3V. D'autres capteurs communiquant ainsi peuvent être connectés en série à ce capteur. Ce capteur consomme 150µA.

- L'accéléromètre/magnétomètre LSM303 FLORA

Ce capteur possède lui aussi un protocole de communication I2C et peut donc être relié au capteur de luminosité par du fil conducteur en connectant leurs pins adjacents SDA/SCL. Ce dispositif donne l'accélération de la plateforme selon les 3 axes de l'espace et consomme 350µA.

- Le détecteur de rythme cardiaque Pulse sensor amped

Il s'agit d'un transducteur de fréquence cardiaque compatible avec Arduino. Il permet de visualiser les données de sa fréquence cardiaque. Ce système possède trois fils (1 fil relié à la masse GND, 1 fil pour d'alimentation 3V ou 5V et un fil qui délivre le signal analogique). Il peut être utilisé directement sur le lobe de l'oreille ou sur le bout du doigt et connecté à la FLORA (qui possède un convertisseur analogique-numérique). Il comporte également une application de monitoring open-source qui trace le pouls en temps réel. Ce capteur n'a pas été conçu pour être cousu au textile, il devra être placé sur le lobe du cycliste et relié à la FLORA dans son dos.

- Le système de communication en Radio-fréquence

Le système de communication Radio-fréquence est constitué d'un émetteur et d'un récepteur XCSOURCE 5 PCS 433Mhz RF pour Arduino. La communication sans fil radiofréquence 433Mhz a été choisie pour ce projet notamment pour son très faible coût ainsi que sa consommation énergétique réduite et la bonne sensibilité de son module récepteur (environ -103dBm). De plus, le corps n'interfère pas dans la transmission. La portée est de 100m à l'air libre, ce qui est largement suffisant pour effectuer une communication entre le maillot du cycliste et le guidon. Ces modules émetteur-récepteur sont alimentés par une tension de fonctionnement de 5V et utilisent la résonance des ondes sonores SAW (Surface Acoustic Wave) comme mode de résonance. Le mode de modulation utilisé est le mode par commutation d'amplitude ASK (amplitude-shift keying)/et le mode par modulation en tout-ou rien OOK (On-off keying). Ils ne sont pas conçus pour être cousus au textile. Les broches de sorties seront dessoudées et du fil conducteur sera intégré à leur place. Ces modules seront intégrés dans une poche à l'avant du maillot.

- Le microcontrôleur Adafruit Feather 32u4 Adalogger, arduino compatible.



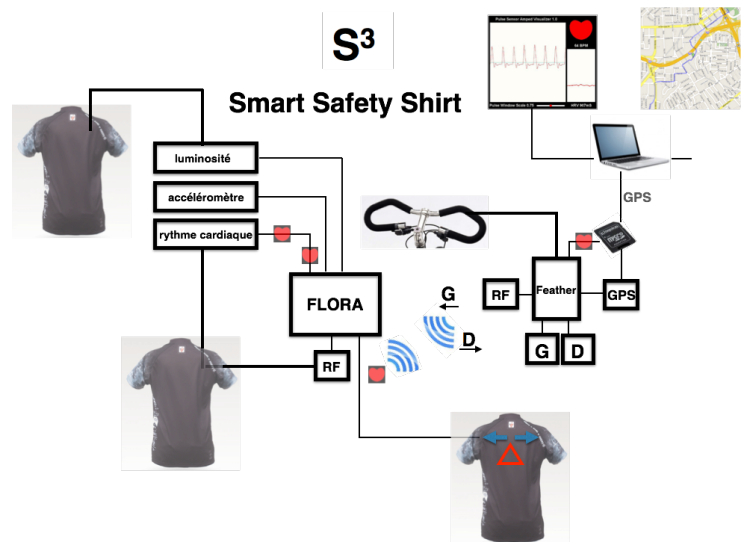
Fig.2. Microcontrôleur Adafruit Feather

Ce microcontrôleur extrêmement léger (fig.2.), fixé sur le guidon du vélo comporte un support micro-SD qui permet d'enregistrer des données. Cette puce comporte 32 Ko de mémoire flash et 2K de RAM (Random Access Memory). Un interrupteur On/Off/On ainsi que deux modules de communication RF (émetteur-récepteur) XCSOURCE 5 PCS 433Mhz seront connectés aux entrées digitales du microcontrôleur. Ce microcontrôleur consomme 500mA.

- Le module GPS FLORA

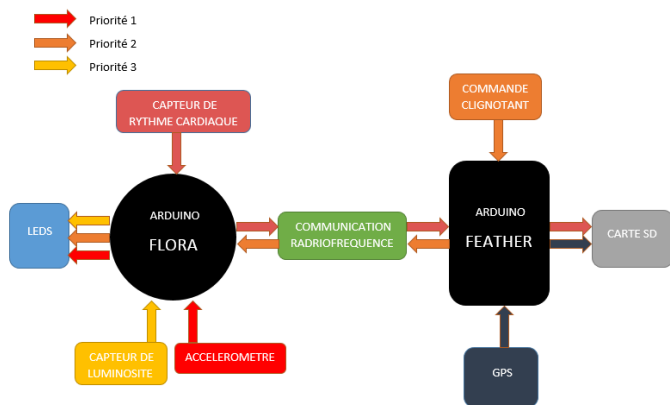
Ce GPS permet de suivre jusqu'à 22 satellites sur 66 canaux et dispose d'une très bonne sensibilité (-165 dB) et d'une antenne intégrée. Ce module est petit et léger, peut être cousu au textile. Il comporte une LED rouge à bord, qui clignote à environ 1Hz lorsqu'il est à la recherche de satellites. L'antenne céramique dont il dispose donne une sensibilité de -165 dB et il possède également une grande capacité de stockage de données. L'heure, la date, la longitude, la latitude, la hauteur sont enregistrées toutes les 15 secondes. Le flash interne au microcontrôleur du module GPS peut stocker environ 16 heures de données de sorte que celles-ci ne sont pas perdues même lorsque l'alimentation est coupée. Le module est alimenté par 3,3V, et connecté au microcontrôleur via les pins digitaux TX et RX. Pour obtenir les données de localisation, il faut que le GPS se trouve à l'extérieur. Sa consommation énergétique est extrêmement faible, seulement 20mA pendant la navigation. Pour définir une géolocalisation, il y a deux types de coordonnées : les coordonnées DMS (Degrees, Minutes, Seconds) et les coordonnées DD (Decimal Degrees). Le DMS donne la localisation en degré, minute, seconde alors que la notation en DD est en décimales. Les données calculées par le capteur sont en DMS. Il faut donc convertir ces données en coordonnées DD afin qu'elles soient traitées par le programme confectionné pour l'interface utilisateur (chap.3). Les données reçues ont le format DDMM.SS équivalent à : DD° MM' SSSS' (DD = degrés, MM = Minutes, SS = Seconds). Par exemple, la conversion de 48° 40' 21" est : $21/3600 = 0.00583$ et $40/60 = 0.6666$ DD= 48+0.6666+0.00583.

C. Montage, câblage du système



D. Script Arduino

Dans la carte FLORA, le script Arduino est architecturé de la manière suivante : la fonction principale permet la réception de la commande gauche ou droite en provenance de l'émetteur RF du guidon grâce à la librairie Virtualwire. Elle fait appel à la fonction « compmots » permettant de comparer les caractères des messages reçus aux chaînes de caractères « gauche » et « droite ». Si le message « droite » est détecté alors la fonction principale fait appelle à la fonction « droite » permettant d'allumer les LEDs Neopixels correspondant sur la matrice. De même si le message « gauche » est détecté. La matrice de LEDs est réinitialisée à chaque début de fonction. La fonction principale permet également de récupérer les données de rythmes cardiaques et de les envoyer au microcontrôleur du guidon grâce à la librairie VirtualWire. Elle fait également appel à la fonction « accel » qui récupère les données d'accélération selon 3 axes x, y et z puis normalise la résultante de l'accélération selon ces axes. Un « seuil de freinage » a été fixé correspondant à la variation de cette valeur entre deux instants successifs. Si ce seuil est dépassé alors la fonction « accel » commande l'allumage de toute la matrice de LEDs en rouge. La luminosité des LEDs Neopixels est régulée en fonction de la luminosité ambiante grâce à l'appel à la fonction « lumi » qui récupère les données de l'éclairage lumineux et fait varier linéairement l'intensité lumineuse des LEDs Neopixels en fonction de l'éclairage ambiant. Ce qui a pour but de minimiser la consommation énergétique du système : les LEDs Neopixels n'ont pas besoin d'être réglées à leur intensité lumineuse maximale dans toutes les conditions d'éclairage ambiant. En parallèle, le script Arduino du microcontrôleur Feather permet, grâce à la librairie VirtualWire, l'envoi de la commande « gauche/droite » à la FLORA et la réception des données de rythme cardiaque. Les données GPS de longitude, latitude, hauteur, date et heure sont récupérées grâce à la fonction « GPS » du programme qui contient également la fonction permettant le stockage des données dans la carte SD.



E. Conception du boîtier

Le système permettant le changement de direction et la récupération des données GPS et de rythme cardiaque est intégré dans un boîtier modélisé en 3D grâce à Blender. Celui-ci est facile à placer sur le guidon et est résistant à la pluie.

Il présente deux trous en forme de flèche, chacun comportant une LED indiquant la direction du clignotant. Ces LEDs sont incrustées dans deux faux plafonds correspondants au sein du boîtier. Les quatre trous au centre de la surface du boîtier servent à assurer la liaison du système avec le module GPS, celui-ci devant être de préférence tenu à l'extérieur du boîtier pour une réception optimale des coordonnées. Le boîtier s'ouvre par dessous, grâce à un panneau coulissant, maintenu fermé à l'aide d'une cale (fig.4). Le trou à la surface droite du boîtier accueille l'interrupteur qui commande les clignotants, et pour cette raison le boîtier est placé le plus près possible de la main droite du cycliste. L'interrupteur On/Off de l'alimentation est accessible sur le dessus du boîtier et la micro-carte SD peut s'insérer directement dans l'Arduino à l'arrière du boîtier. (Fig.3).

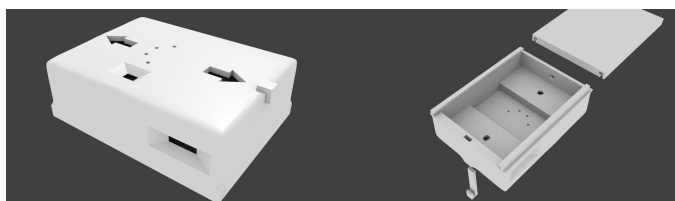


Fig.3.

Fig.4.

F. Consommation énergétique du système

Sachant que le courant fourni par une pile AAA 1.5 V est d'environ 2000mAh, trois piles fourniront un courant de 6000mAh au système embarqué du maillot. Le système embarqué du maillot consommant environ 1,5A, son autonomie sera de 6/1,5 soit de 4h, ce qui est largement raisonnable pour une course à vélo. L'ensemble du système embarqué du maillot et du guidon sont chacun alimentés par une batterie On/Off comportant 3 piles alcalines en série délivrant 1,5V chacune soit 4,5V. Le système embarqué du

guidon consomme environ 600mA, ainsi, la même batterie lui fournira une autonomie de $6/0,6= 10h$.

G. Lavage

Pour laver le maillot, il suffit de s'assurer que la batterie et les modules de communication RF soient retirés du T-shirt. Ces modules ne sont pas cousus au maillot afin d'être facilement détachables. La carte FLORA, les Neopixels, les capteurs et le fil conducteur peuvent être trempés en toute sécurité. Le fil conducteur étant en acier inoxydable, le risque d'oxydation est réduit au minimum.

III. INTERFACE UTILISATEUR

Pour notre interface utilisateur, nous avons opté pour un programme codé en C# sur Visual Studio. Ce programme permet au cycliste de visualiser son parcours sur une carte Gmap développée par Google. De plus, le cycliste peut également visualiser l'évolution de son rythme cardiaque durant sa course. En effet, grâce à Windows Form sur visual studio, nous avons réalisé une interface dynamique avec un menu proposant de visualiser la vitesse moyenne, la distance parcourue, le nombre de calories consommées et les données de pouls. Ces données sont stockées dans une carte SD sous forme d'un fichier « txt ». En insérant la carte SD sur un ordinateur, le programme trace l'itinéraire parcouru par l'utilisateur et l'évolution de son rythme cardiaque durant sa course.

IV. PERSPECTIVES

Smart Safety Shirt S³ n'est que le commencement d'un projet pouvant s'inscrire dans un domaine d'application beaucoup plus vaste. Smart Safety Shirt S³ pourrait devenir un vêtement détaché de son usage exclusivement dédié au cyclisme, et équipé d'une intelligence artificielle permettant de s'adapter à chaque sportif, accompagné d'applications de coaching personnalisé et de monitoring en temps réel. Mais ce système d'intelligence embarqué pourrait également être intégré dans différents types de tissus et répondre à d'autres besoins. Une personnalisation pourrait être imaginée au niveau de la conception du vêtement, de l'intégration de nouveaux capteurs, du développement de logiciels (application Smartphones, plateforme internet..) permettant un suivi totalement adapté au style de vie recherché (mode compétition, bien être, sport de loisir...), croisant à la fois esthétique, confort, monitoring et sécurité.

V. SITE WEB "SMARTSAFESHIRT"

Dans la continuité de notre projet, nous avons décidé de créer un site web afin de promouvoir notre vêtement intelligent. Ce site présente les différents aspects du produit ainsi qu'une présentation des membres fondateurs du projet. Il permet aux clients d'accéder à leurs données n'importe où et à n'importe quel moment grâce à une synchronisation avec l'interface utilisateur. Ce site comporte cinq différentes pages,

la page “Home”, la page d’accueil, sur laquelle sont exposées brièvement les activités du groupe, et où sont présentés les produits futurs. La page “Project” est dédiée aux dernières inventions et comporte les vidéos d’utilisation des nouveaux produits. La page “Inscription” permet aux utilisateurs désireux d’avoir accès à leurs données de courses à distance (via le web) de s’inscrire grâce à un formulaire, les données ainsi récupérées seront envoyées vers une base de données “MySQL”, et celles-ci pourront être visualisées à la demande de l’utilisateur membre dans la page “Data Access”, sous forme de graphiques de la librairie “Chart.js”. Enfin la page “About” est une page de présentation des membres fondateurs du Smart Safety Shirt, de leurs activités principales et perspectives d’évolution.

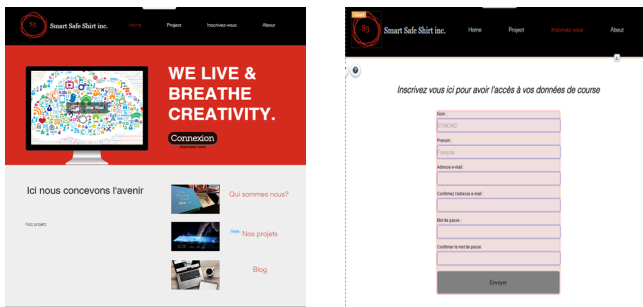


Fig.5. Site web SmartSafeShirt

REFERENCES

- [1] ‘FLORA - Wearable Electronic Platform: Arduino - Compatible - ID: 659’. *Farnel element14 Electronic Component Distributors*. Accessed 24 January 2016. <http://www.farnell.com/datasheets/1701054.pdf>.
- [2] ‘Overview | Flora Wearable GPS | Adafruit Learning System’. Accessed 24 January 2016. <https://learn.adafruit.com/flora-wearable-gps>.
- [3] ‘Overview | Getting Started with FLORA | Adafruit Learning System’. Accessed 24 January 2016. <https://learn.adafruit.com/getting-started-with-flora>.
- [4] ‘Overview | Sewable NeoPixels | Adafruit Learning System’. Accessed 24 January 2016. <https://learn.adafruit.com/flora-rgb-smart-pixels/overview>.
- [5] ‘Pulse Sensor Amped ID: 1093 - \$25.00 : Adafruit Industries, Unique & Fun DIY Electronics and Kits’. Accessed 24 January 2016. <https://www.adafruit.com/products/1093>.
- [6] Skywood. ‘[Tutoriel] Arduino et émetteur/récepteur 433MHz (VirtualWire)’. *Skyduino - Le DIY à La Française*, 29 December 2011. <https://skyduino.wordpress.com/2011/12/29/tutoriel-arduino-et-emetteurrecepteur-433mhz-virtualwire/>.
- [7] STMicroelectronics. ‘Ultra-Compact High-Performance eCompass Module: 3D Accelerometer and 3D Magnetometer’. *STMicroelectronics*. Accessed 24 January 2016. <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00027543.pdf>.
- [8] Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc. ‘TSL2560, TSL2561 LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER’. *Adafruit Industries, Unique & Fun DIY Electronics and Kits*. Accessed 24 January 2016. <https://www.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf>.
- [9] Giordani & Briand. ‘Atelier eTextile #1’. 3 July 2015. https://docs.google.com/presentation/d/13cxtxYUfYbYG2PQJ4Tyrh9d2O5c114kCH1vtMMFIpfA/edit?usp=embed_facebook.
- [10] ‘Atelier eTextile #2’. 28 July 2015. https://docs.google.com/presentation/d/1wL2zckt8hyLRt1rG08V12S0HCgUeLZ87LkdbiY611I4/edit?usp=embed_facebook.
- [11] Loubens, Audrey. ‘Ces Textiles Intelligents Qui Prennent Soins de Nous’. *Techniques de l’Ingénieur*, 20 July 2014. <http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/ces-textiles-intelligents-qui-prennent-soin-de-nous-24645>