

Conception et évaluation centrée utilisateur d'une technologie innovante au service de l'autonomie et du handicap : « VIGI-SORE » - Dispositif embarqué de prévention des escarres

Petra Hlavackova^{1,2,3}, Olivier Chenu^{1,2}, Yohan Payan¹, Bruno Diot⁴, Francis Cannard⁵, Marek Bucki^{1,5}, Jacques Demongeot^{1,2}, Nicolas Vuillerme^{1,2,3}

¹ TIMC-IMAG, UMR CNRS 5525, Université Joseph Fourier, 38706 La Tronche

² AGIM FRE CNRS, Université Joseph Fourier, 38706 La Tronche

³ CIC-IT 805 « Médicaments et dispositifs médicaux pour le handicap moteur » INSERM/AP-HP, Hôpital Raymond Poincaré / Garches, 104 Bd Poincaré 92380 Garches

⁴ IDS, 71300 Montceau-les-Mines, France

⁵ TXS, 71300 Montceau-les-Mines, France

Nicolas.Vuillerme@imag.fr

Mots clés : Prévention des escarres ; blessé médullaire; ergonomie ; conception participative ; utilisabilité ; suppléance perceptive

Résumé :

La prévention des escarres chez le blessé médullaire, compte tenu de leur prévalence, des conséquences sur la qualité de vie des personnes atteintes et des coûts de prise en charge, constitue une priorité de santé publique majeure qui n'a pas aujourd'hui de solutions thérapeutiques fiables et satisfaisantes. C'est dans ce contexte médical, sociétal et économique que nous avons mis au point un dispositif de prévention des escarres du blessé médullaire. Nous présentons ici notre démarche ergonomique de conception et d'évaluation centrée utilisateur, ainsi que les principaux résultats de ce travail. Trois étapes ont été suivies: conception participative, prototypage et évaluation en termes d'utilisabilité. Une étude de conception participative menée auprès de blessés médullaires paraplégiques a conduit à décrire le principe de fonctionnement du dispositif de suppléance perceptive tactilo-visuelle de prévention des escarres VIGI-SORE comme suit: (1) mesure en continu et en temps réel des pressions sur l'assise et le dossier du fauteuil à l'aide de capteurs ; (2) identification des zones de souffrance tissulaire à partir de l'analyse automatique des surpressions enregistrées ; (3) estimation des changements posturaux optimaux à réaliser pour soulager ces zones de souffrance à partir de la simulation informatique des cartographies de pressions associées à différentes postures ; (4) si nécessaire, retour d'information à la personne paraplégique selon les 2 modalités: une alerte (via un système de vibreur tactile au poignet ou téléphone portable) d'un risque de formation d'escarre, et une information (via affichage de messages textuels ou iconographiques sur une montre ou un écran déporté) de la distribution des pressions fessières ou d'un changement postural qui soulagerait la zone de souffrance ; (5) recueil, transmission et stockage de l'ensemble des pressions mesurées afin de constituer une base de données épidémiologiques personne-dépendante avec comme objectif une remontée des informations vers le personnel médical. Sur la base des spécifications de ce cahier des charges et de principes et recommandations ergonomiques, un prototype a été mis au point, puis évalué en termes d'utilisabilité auprès d'utilisateurs potentiels (norme ISO 9241-11). Les premiers résultats de cette évaluation ont montré que les blessés médullaires paraplégiques sont capables d'utiliser, avec efficacité, efficacité et satisfaction dans le contexte d'utilisation spécifié, le dispositif VIGI-SORE pour améliorer la distribution spatiale au cours du temps de la pression exercée sur

les tissus mous à l'interface saillies osseuses/fauteuil en vue de prévenir la formation d'une escarre fessière. En définitive, notre démarche ergonomique centrée utilisateur a permis d'orienter les choix de conception du dispositif de prévention des escarres pour assurer une meilleure adaptation au profil/besoins/attentes des futurs utilisateurs.

1. Introduction

La prévention des escarres chez le blessé médullaire, compte tenu de leur prévalence, des conséquences sur la qualité de vie des personnes atteintes et des coûts de prise en charge, constitue une priorité de santé publique majeure qui n'a pas aujourd'hui de solutions thérapeutiques fiables et satisfaisantes. Privés de leurs capacités sensorielles, les blessés médullaires peuvent en effet développer des ischémies des tissus cutanés et sous-cutanés fessiers (notamment au niveau des proéminences osseuses), secondaires à des forces de compression et de cisaillement à l'interface fesse / assise du fauteuil roulant. Ainsi, des pressions trop fortes non soulagées après un certain temps peuvent donner lieu à une ischémie (une déficience en apport sanguin) des tissus organiques par écrasement des vaisseaux (McKinley et al., 1999). Une hypoxie cellulaire se crée qui, si elle se maintient, va évoluer en nécrose. A cela s'ajoute une détérioration mécanique : la pression chasse le liquide interstitiel des tissus et les forces sont donc directement appliquées sur les parois des cellules.

S'il est désormais bien établi que la formation d'escarres est fréquente dans certaines populations de personnes ou de patients, les données épidémiologiques actuelles restent insuffisantes pour évaluer précisément sa prévalence et son incidence en France (ANAES, 2001). Certaines extrapolations avancent tout de même une prévalence de 300 000 escarres pour l'ensemble de la population française, dont probablement entre 70 000 et 112 000 à domicile (ANAES, 2001). 34 à 46 % des blessés médullaires développent une escarre dans les 2 ans à distance de l'accident (ANAES, 2001), et plus de 85 % développent au moins une escarre durant leur vie (Barrois et al., 1999). En cela, l'escarre est reconnue comme cause majeure de ré-hospitalisation chez les personnes paraplégiques (Cardenas et al., 2004). Si certaines sources avancent des chiffres de plusieurs milliards d'euros concernant les personnes souffrant d'escarres en France (APF, 2002), les coûts, et, plus largement, les incidences économiques des escarres, sont encore mal connus. Il est cependant clairement établi que le traitement médical et chirurgical de l'escarre est lourd, long et coûteux ; la non-application de pratiques de prévention est génératrice de surcoûts importants, en termes d'allongement des durées de séjours, de morbidité accrue ou d'alourdissement de la charge en soins (ANAES, 2001 ; Bennett et al., 2004).

C'est dans ce contexte médical, sociétal et économique que nous avons mis au point un dispositif de prévention des escarres du blessé médullaire. Nous présentons ici notre démarche ergonomique de conception et d'évaluation centrée utilisateur, ainsi que les principaux résultats de ce travail, réalisé au sein du laboratoire TIMC-IMAG, en collaboration avec l'entreprise IDS SA, le Centre d'Investigation Clinique - Innovation Technologique 805 "Médicaments et dispositifs médicaux pour le handicap moteur" de Garches, avec le soutien de l'Institut Carnot Logiciels et Systèmes Intelligents, de Grenoble Alpes Valorisation Innovation Technologies, du

Pôle d'Allongement de la Vie Charles Foix, de la Fondation Garches et du Fonds AXA pour la Recherche.

2. Conception du dispositif, prototypage et évaluation centrée utilisateur

Nous avons mis au point le dispositif de prévention des escarres VIGI-SORE, à l'issue d'un travail de conception centrée utilisateur qui consiste à mettre en place un processus itératif comprenant 3 phases principales (Mayhew, 1999) :

1. *La phase d'analyse ou « conception participative »* : Cette première étape vise à préciser les attentes et les besoins des utilisateurs finaux. Elle sert à prendre connaissance de la tâche réelle des utilisateurs et d'analyser le contexte dans lequel ils effectuent, ou vont effectuer, cette tâche. La phase d'analyse sert à préciser l'utilité recherchée par les utilisateurs de l'application. Les méthodes d'observation peuvent comprendre l'utilisation de questionnaires, de grilles d'observation heuristiques, de focus group. Il est préférable d'ordonner ces besoins et exigences selon leur importance vis-à-vis du produit à développer, et des éventuelles contraintes de faisabilité technique.
2. *La phase de prototypage* : Sur la base des éléments recueillis dans la phase d'analyse, une première maquette ou prototype du produit est conçu. Cette maquette résulte, d'une part de l'analyse de la tâche des utilisateurs et des spécificités du contexte de travail, et d'autre part des principes et recommandations ergonomiques. Elle peut reposer aussi sur des standards de conception. Cette première maquette évoluera ensuite suivant les retours de la phase suivante d'évaluation. Chaque itération permet d'enrichir et finaliser la maquette.
3. *La phase d'évaluation en termes d'utilisabilité* : Cette phase consiste à mesurer l'utilisabilité du prototype, c'est-à-dire de valider la satisfaction des utilisateurs dans la réalisation des tâches évaluées. Parmi les différentes méthodes d'évaluation envisageables (Baccino et al., 2005), la principale est le test utilisateur. Ce dernier consiste à placer la personne en situation d'utilisateur réelle du produit ainsi qu'à observer les difficultés rencontrées. L'évaluation permet d'identifier les points à perfectionner sur la maquette et par conséquent de préparer la version suivante qui sera à nouveau testée et ainsi de suite. L'expérience montre que 2 à 3 itérations suffisent généralement pour finaliser la conception de l'interface (Nogier, 2008).

2.1. Conception participative

La conception participative orientée usage est un processus (Caelen, 2004) qui consiste à concevoir divers dispositifs, en collaboration avec les futurs utilisateurs. Tout au long du processus de conception, les utilisateurs participent en temps qu'experts de l'utilisation de la technologie dans son contexte, et en temps qu'innovateurs en apportant des idées qui permettent d'explorer de nouvelles voies de conception.

Notre phase d'analyse s'est déroulée en collaboration avec le Centre des Technologies Logicielles (CTL, Grenoble) et a impliqué 12 personnes blessées médullaires paraplégiques, certaines ayant déjà développé au moins une escarre. Des entretiens collectifs et discussions ont été réalisés en abordant les étapes suivantes : observations et analyses, introspection, questionnaires, interviews, génération d'idées, scénario de travail, brainstorming, conception détaillée, scénarios de conception, prototypages.

Les résultats de cette étude ont d'abord confirmé que les soulèvements réguliers et les modifications de l'assise sont, d'après les participants, les solutions les plus efficaces pour prévenir la formation d'une escarre. Les personnes ayant déjà développé une escarre ont témoigné d'un vif intérêt pour la mise au point de dispositifs de prévention. Idéalement, ceux-ci devraient les informer d'une mauvaise posture, d'un point d'appui et leur rappeler de se soulever régulièrement, afin d'éviter la formation d'une escarre. De manière intéressante, les besoins et attentes relatifs à la façon dont cette information devrait être renvoyée à l'utilisateur du dispositif étaient variés. D'un côté, les personnes les plus jeunes se déclaraient intéressées pour recevoir une information sur une distribution anormale et problématique des pressions fessières par affichage sur un téléphone portable ou sur une montre disposant d'un écran spécifique. D'un autre côté, les personnes les plus âgées préféraient être informées de la solution à mettre en œuvre pour pallier le problème (par exemple « déplacer votre buste vers la gauche ») et que cette solution soit affichée sur un écran déporté. Enfin, toutes les personnes ont opté pour un dispositif embarqué et hautement personnalisable. Cette séance de conception participative a enfin révélé que la stimulation tactile devait être retenue comme le mode d'alerte adéquat, tandis que la modalité visuelle devait être retenue pour fournir les informations complémentaires relatives en particulier au changement postural conseillé.

Cette phase de conception participative plaide donc en faveur d'un dispositif embarqué de prévention des escarres capable de supprimer la cause de l'apparition de ces escarres, c'est-à-dire les surpressions des tissus mous observées à l'interface fesses/fauteuil. Ce dispositif devra surveiller (et donc mesurer) ces pressions et, si nécessaire, alerter la personne en lui indiquant le changement postural qui soulagera la zone. Un retour tactilo-visuel (une alerte tactile et une information visuelle) semble faire l'unanimité des participants, utilisateurs potentiels ou futurs utilisateurs du dispositif de prévention des escarres.

2.2. Prototypage

L'étude de conception participative nous a permis de décrire le principe de fonctionnement du dispositif de suppléance perceptive tactilo-visuelle de prévention des escarres VIGI-SORE comme suit:

1. mesure en continu et en temps réel des pressions sur l'assise et le dossier du fauteuil à l'aide de capteurs ;
2. identification des zones de souffrance tissulaire à partir de l'analyse automatique des surpressions enregistrées ;
3. estimation des changements posturaux optimaux à réaliser pour soulager ces zones de souffrance à partir de la simulation informatique des cartographies de pressions associées à différentes postures ;

4. si nécessaire, retour d'information à la personne paraplégique selon les deux modalités suivantes:
 - i. une alerte (via un système de vibreur tactile au poignet ou téléphone portable) d'un risque de formation d'escarre, et
 - ii. une information (via affichage de messages textuels ou iconographiques sur une montre ou un écran déporté) de la distribution des pressions fessières ou d'un changement postural qui soulagerait la zone de souffrance ;
5. recueil, transmission et stockage de l'ensemble des pressions mesurées afin de constituer une base de données épidémiologiques personne-dépendante avec comme objectif une remontée des informations vers le personnel médical. Cette étape reprendra les principes de traitements et de remontées d'informations confidentielles déjà bien maîtrisées par l'entreprise IDS de par son implication dans des projets d'Hospitalisation à Domicile et le fait qu'elle possède l'agrément hébergeur de données de santé à caractère personnel, agrément délivré par le Ministère de la santé. Il est bon de rappeler que toute démarche de télésanté implique l'acquisition et la centralisation de données de santé à caractère personnel, encadrées par les lois du 4 mars 2002 et du 13 août 2004, dont l'objet est de préserver la vie privée des personnes lors du recours à des technologies de l'information notoirement vulnérables.

Sur la base des spécifications de ce cahier des charges et de principes et recommandations ergonomiques, un prototype a été mis au point en collaboration avec entreprises IDS et TXS (Figure 1) (Vuillerme et al., 2010).

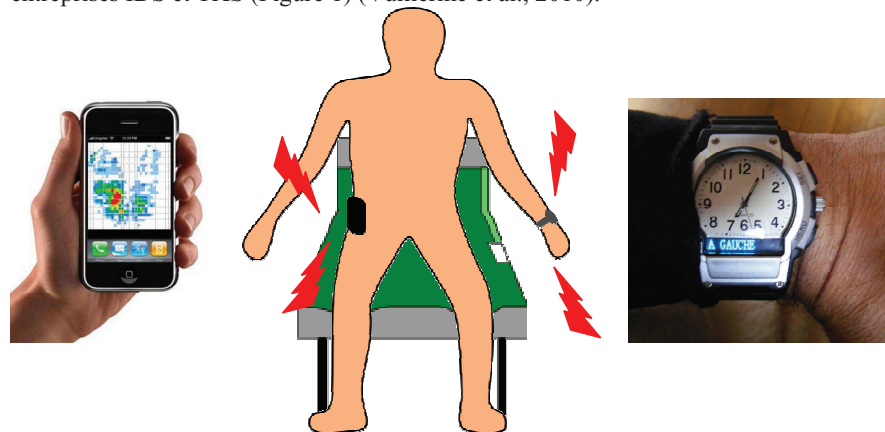


Figure 1. Principe de fonctionnement du dispositif embarqué de prévention des escarres VIGI-SORE (Vuillerme et al., 2010)

2.3. Evaluation d'utilisabilité

Le prototype VIGI-SORE a fait l'objet d'une évaluation d'utilisabilité menée auprès d'utilisateurs potentiels (norme ISO 9241-11). La norme ISO 9241-11 définit l'utilisabilité de la manière suivante : « un système est utilisable lorsqu'il permet à l'utilisateur de réaliser sa tâche avec efficacité, efficacité et satisfaction dans le

contexte d'utilisation spécifié ». Cette utilisabilité comporte ainsi plusieurs dimensions :

1. l'efficacité : le produit autorise ses utilisateurs d'atteindre le résultat prévu ;
2. l'efficience : atteint le résultat avec un effort moindre ou requiert un temps minimal ;
3. la satisfaction : confort et évaluation subjective de l'interaction pour l'utilisateur.

Le prototype a été testé sur 3 personnes paraplégiques, assises devant un film ; les pressions fessières étaient recueillies en temps réel. Il leur était demandé de répondre à une alerte par un déplacement postural supposé diminuer les pressions des capteurs pour lesquels une trop forte pression a été appliquée trop longtemps (voir Chenu et al. (2009) pour ce qui concerne le mode de calcul des alertes de surpressions et les consignes de changement postural). En comparant les distributions fessières avant et après l'alerte, nous pouvons déterminer la justesse de la réaction à une alerte.

Chaque sujet paraplégique a réalisé au cours d'une activité standardisée (visionnage d'un film), un enregistrement d'une durée de 7 minutes des pressions exercées à l'interface saillies-osseuses/fauteuil dans deux conditions expérimentales : le dispositif embarqué de prévention des escarres (1) désactivé (condition contrôle) et (2) activé (condition expérimentale). L'analyse des pressions fessières enregistrées a permis d'évaluer si, et dans quelle mesure, les sujets paraplégiques du groupe expérimental ont mis en œuvre ou non une réponse posturale concordant avec l'information délivrée par le dispositif embarqué de prévention des escarres et si cette réponse posturale a eu pour effet de diminuer ou non la zone de surpression fessière.

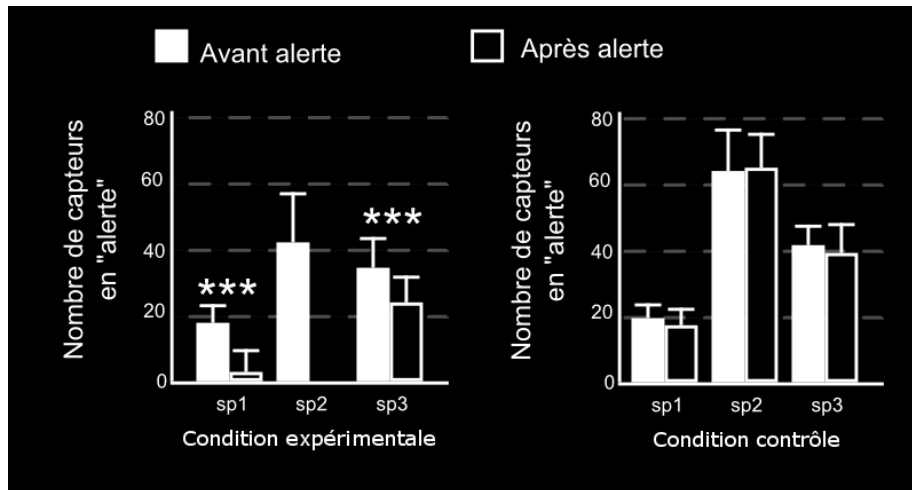


Figure 2. Résultat de l'étude d'utilisabilité.

Le nombre de capteurs « en alerte » a significativement diminué dans la condition expérimentale, et non dans la condition contrôle, et ce pour tous les sujets. (***) : $P < 0.001$

Les résultats de cette première évaluation (figure 2) montrent que les blessés médullaires paraplégiques sont capables d'utiliser, avec *efficacité*, *efficience* et *satisfaction* dans le contexte d'utilisation spécifié, le dispositif VIGI-SORE pour

améliorer la distribution spatiale au cours du temps de la pression exercée sur les tissus mous à l'interface saillies osseuses/fauteuil.

4. Discussion

Nous avons présenté ici notre démarche ergonomique de conception et d'évaluation centrée utilisateur d'une technologie innovante au service de l'autonomie et du handicap (« VIGI-SORE » - Dispositif embarqué de prévention des escarres), ainsi que les premiers résultats de ce travail qui doivent être complétés par une population plus large. Même limités, ces résultats montrent le potentiel du dispositif VIGI-SORE qui pourrait avoir un impact important sur leur bien-être et la qualité de vie des blessés médullaires.

La mise au point du dispositif s'est voulue centrée sur l'utilisateur, avec un processus reposant sur les trois étapes de (1) conception participative, (2) prototypage et (3) évaluation d'utilisabilité. Ce processus, par essence itératif, nous a permis de mettre en évidence la nécessité des deux développements complémentaires suivants.

1 La mise au point d'une nappe de capteurs de pression (1) qui soit suffisamment souple pour être disposée sur l'assise du fauteuil roulant, sur ou autour du coussin de la personne blessée médullaire, et (2) dont le prix d'achat soit raisonnable, en comparaison des dispositifs existants (Vista Medical Ltd, XSensor Inc. ou Tekscan Inc.) qui proposent des nappes de pressions vendues autour de 15 k€, hors de portée de la plupart des blessés médullaires. Avec les industriels TXS et IDS, nous avons ainsi développé une nappe 100% textile qui présente l'avantage d'une grande flexibilité et qui devrait pouvoir être distribuée à un tarif d'un ordre de grandeur inférieur à ceux des nappes de pression actuellement sur le marché.

2. L'estimation en temps réel des contraintes internes aux fesses de la personne à partir des mesures de pressions en surface. Une prévention efficace de la formation des escarres nécessite en effet une estimation juste et précise des contraintes internes du massif fessier du blessé médullaire puisque les pressions externes qui se répartissent sur la surface d'appui se propagent à travers les tissus mous et atteignent leurs valeurs maximales à proximité des structures osseuses saillantes telles que les ischions. Il apparaît donc indispensable de prendre en compte l'anatomie spécifique de chaque individu, notamment les épaisseurs variables de tissus mous et la forme des os du bassin. Par ailleurs, du fait de la variété des sollicitations mécaniques quotidiennes et des surpressions induites par les changements de posture du blessé médullaire paraplégique, le calcul des contraintes internes doit être effectué en trois dimensions. La Méthode des Eléments Finis a été retenue pour modéliser les tissus mous du massif fessier (Cf. figure 3), avec la mise en place de pré-calculs dans un cadre d'élasticité linéaire, afin de garantir un calcul temps réel des contraintes internes (voir Bucki et al., 2011, pour une présentation de ce cadre de modélisation).

En conclusion, notre démarche ergonomique centrée utilisateur a permis d'orienter les choix de conception du dispositif de prévention escarres pour assurer une meilleure adaptation aux profils/besoins/attentes des futurs utilisateurs. Cette démarche a mis en évidence la nécessité d'une approche pluridisciplinaire (neurosciences cognitives, biomécanique, sciences et technologies de l'information et de l'ingénierie, clinique)

pour cette phase de conception de technologies innovantes au service de l'autonomie et du handicap.

Nous travaillons actuellement à l'élargissement et à la conception et l'évaluation centrée utilisateur de nos technologies innovantes au service de l'autonomie et du handicap, à travers plusieurs projets pluridisciplinaires dédiés à la prévention des ulcères plantaires (Agence Nationale de la Recherche TecSan, Pôle de compétitivité Techtera), au dépistage et au suivi des pathologies chroniques (Fonds Unique Interministériel, Pôle de compétitivité Minalogic, Cluster de santé de la région Rhône-Alpes I-CARE), et à l'assistance aux personnes aveugles, mal voyantes et atteintes de dégénérescence maculaire liée à l'âge (Bonus Qualité Recherche de l'Institut polytechnique de Grenoble). Dans ce dernier cas, la recherche de tests fonctionnels à domicile signant l'évolution de la maladie, par perte de la capacité d'avoir des illusions optiques quantifiables (illusions de la grille d'Hermann, illusions des polygones et polytopes de Kanizsa,...) permet la surveillance du handicap visuel et l'adaptation de l'assistance ou de la suppléance, donc le maintien à domicile de ces personnes en situation de dépendance ou de handicap (Demongeot et al. 2008).

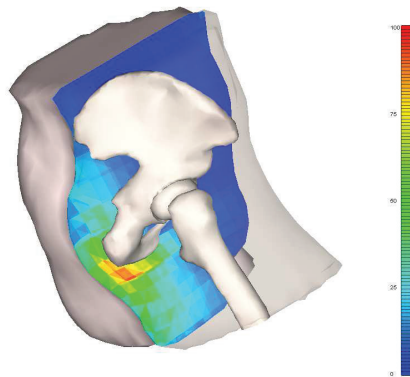


Figure 3. Modèle éléments finis du massif fessier
Coupe sagittale avec contraintes concentrées à l'interface tissus mous / ischions

Références

- ANAES (2001). *Prévention et traitement des escarres de l'adulte et du sujet âgé*. Conférence de consensus. ANAES. Novembre 2001.
- APF, 2002. *Déficiences motrices et situations de handicaps*, eds.
- Baccino T. et al (2005). *Mesure de l'utilisabilité des interfaces*, Paris : Hermès
- Bennett G, Dealey C, Posnett J. (2004). The cost of pressure in the UK. *Age and Ageing*. Vol. 33:230-35.
- Bucki M., Vuillerme N., Cannard F., Diot B., Payan Y. (soumis). Modèle Biomécanique par Eléments Finis du Pied Diabétique pour la Prévention en Temps Réel de la Formation des Ulcères Plantaires. *Soumis au congrès ASSISTH 2011*.

- Caelen J. (sous la direction) (2004). *Le consommateur au cœur de l'innovation*, CNRS Editions, Paris, 212 pages.
- Cardenas D.D., Hoffman J.M., Kirshblum S., McKinley W. (2004). Etiology and incidence of rehospitalization after traumatic spinal cord injury: a multicenter analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Vol. 85:1757-1763.
- Chenu O., Vuillerme N., Demongeot J., Payan Y. (2009). A wireless lingual feedback device to reduce overpressures in seated posture: A feasibility study. *PLoS ONE*, Vol. 4(10):e7550.
- Demongeot J., Fouquet Y., Tayyab, M., Vuillerme N. (2009). Understanding Physiological & Degenerative Natural Vision Mechanisms to Define Robust Contrast and Segmentation Operators. *PLoS ONE*. Vol. 4: e6010.
- McKinley W.O., Jackson A.B., Cardenas D.D., DeVivo M.J. (1999). Longterm medical complications after traumatic spinal cord injury: a regional model systems analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Vol. 80(11):1402-1410.
- Mayhew D., *The usability engineering lifecycle: a practitioner's handbook for user interface design*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1999.
- Nogier J.F. (2008), *Ergonomie du logiciel et design web : Le manuel des interfaces utilisateur*. 4^{ème} édition, Dunod.
- Vuillerme N., Payan Y., Chenu O., Diot B., Cannard F., Lavarenne C. (2010). *Device for preventing the occurrence of eschars*. Université Joseph Fourier de Grenoble / CNRS / Informatique De Sécurité. Num: WO/2010/057926, May 27th 2010.