



## Suivi de paramètres physiologiques en activité sans ondes radio

Physiological parameter monitoring during efforts without radiofrequency waves

**Stéphanie SAHUGUÈDE**

XLIM (Axe SRI, Sycomor)  
Université de Limoges, France

<https://orcid.org/0000-0002-4238-9136>  
[stephanie.sahuguede@unilim.fr](mailto:stephanie.sahuguede@unilim.fr)

**Alassane KABA**

XLIM (Axe SRI, Sycomor)  
Université de Limoges, France

<https://orcid.org/0000-0001-5644-0732>  
[alassane.kaba@unilim.fr](mailto:alassane.kaba@unilim.fr)

**Anne JULIEN-VERGONJANNE**

XLIM (Axe SRI, Sycomor)  
Université de Limoges, France

<https://orcid.org/0000-0002-1141-2874>  
[anne.julien-vergonjanne@unilim.fr](mailto:anne.julien-vergonjanne@unilim.fr)

**Sébastien REYNAUD**

Centre Technologique Electronique et Hyperfréquences  
(CISTEME)  
Université de Limoges, France

<https://orcid.org/0000-0003-1888-6113>  
[reynaud@cisteme.net](mailto:reynaud@cisteme.net)

---

URL : <https://www.unilim.fr/trahs/3905>

DOI : 10.25965/trahs.3905

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

---

**Résumé :** Le vieillissement de la population mondiale conduit à une augmentation des maladies liées à la vieillesse, aggravant la fragilité et donc réduisant l'autonomie des personnes âgées. Les réseaux de capteurs corporels sans fil font partie des solutions étudiées depuis plusieurs années pour surveiller et ainsi prévenir la santé des personnes âgées. La plupart des dispositifs existants proposent des communications sans fil basées sur des technologies radio fréquences (RF). Cependant les interférences électromagnétiques et les risques pour la santé des ondes radio constituent un frein au déploiement. Ainsi, une alternative originale dans ce contexte est l'utilisation des technologies de communication optique sans fil.

L'équipe Sycomor du laboratoire XLIM travaille depuis plusieurs années sur cette technologie, en particulier la modélisation du canal et l'évaluation des performances

pour les réseaux de capteurs corporels et collabore sur le sujet avec le laboratoire HAVAE de l'Université de Limoges, le CHU de Limoges, La Fondation partenariale de l'université et le centre de transfert de technologie CISTEME sur différents volets applicatifs. Parmi les applications, on retrouve les environnements où les ondes radios sont à limiter, principalement pour des raisons de santé ou de sécurité des informations transmises. Les ondes radios sont déconseillées pour les nourrissons et peuvent poser des problèmes de compatibilité et d'interférence pour des personnes portant des dispositifs électroniques implantés. Ainsi, les travaux menés par l'équipe portent aussi bien sur la surveillance du jeune enfant que sur celle de la personne âgée ou fragile.

Mots clés : réseaux de capteurs corporel, optique sans fil, suivi de paramètres de santé

Abstract: The aging of the world population is leading to an increase in diseases, aggravating the frailty and therefore reducing the autonomy of the elderly. Wireless body sensor networks are one of the solutions studied for several years to monitor and thus prevent the health disabilities of the elderly. Most of the existing devices offer wireless communications based on radio frequency (RF) technologies. However, electromagnetic interference and the health risks of radio waves constitute a brake on deployment. Thus, an original alternative in this context is the use of wireless optical communication technologies.

The Sycomor team of the XLIM laboratory has been working for several years on this technology, in particular on channel modeling and performance evaluation for body area networks. Several collaborations on the subject have been established : with the HAVAE laboratory of University of Limoges, Limoges University Hospital Center, University Partnership Foundation and CISTEME, the technology transfer center close to laboratory concerns. Among the applications, we focus on environments where radio waves are not recommended, mainly for health reasons or regarding security of the transmitted information. Particularly, in the context of young children or for people wearing implanted electronic devices, radio waves are not suitable. Thus, the work carried out by the team covers both the supervision of the young child and that of the elderly or fragile person.

Keywords: body area networks, optical wireless communications, health monitoring

## Introduction

Dans le contexte actuel de croissance du nombre d'objets connectés et l'émergence du concept de l'internet des objets (IoT), le suivi de paramètres de personnes en situation de fragilité apparaît comme incontournable. Le développement d'objets connectés dans tous les domaines (transports, usines, villes, divertissement, santé, bien-être...) a pu se faire grâce à la grande flexibilité, la mise en réseau et la mobilité des services pour les dispositifs sans fil. Dans ce contexte, l'utilisation de technologies de communication basées sur les ondes radiofréquences (RF), de quelques kHz à plusieurs dizaines de GHz, est largement répandue. Cependant, depuis quelques années, cette évolution se heurte petit à petit à certaines limitations. En effet, la multiplication de dispositifs communicants et de services à haut débit peut générer une grande variété d'interférences et contribue à la saturation du spectre associé aux radiofréquences.

Par exemple, la norme IEC 60601-1-2<sup>1</sup> recommande une distance de séparation minimale entre les appareils électriques médicaux et les équipements de communication RF pour éviter la dégradation des performances. On note également une méfiance généralisée croissante envers la présence d'ondes électromagnétiques dans notre quotidien, notamment vis-à-vis de leur impact sur la santé. Bien qu'aujourd'hui ces études ne démontrent pas concrètement la réalité de ces impacts, la loi n° 2015-136 du 9 février 2015, dite loi "Abeille"<sup>2</sup> faisant référence à la transparence, à l'information et à la concertation en matière d'exposition aux ondes électromagnétiques interdit par exemple leur utilisation dans les zones d'accueil, repos et activité des établissements publics accueillant les jeunes enfants (moins de 3 ans) et restreintes aux activités pédagogiques dans les écoles primaires. De plus, l'utilisation des technologies Wi-Fi et Bluetooth présente aussi des inconvénients liés à la sécurité et à la fiabilité (grande variété d'interférences RF).

Dans ce contexte, la technologie optique sans fil, très souvent associée à l'acronyme Li-Fi (« Light-Fidelity »), apparaît comme une solution alternative, dont les premiers prototypes industriels datent de 2013<sup>3</sup>. Cette technologie est liée à la pénétration des LED pour l'éclairage, dont les propriétés de commutation permettent également de les utiliser pour la communication. Un tel éclairage intelligent offre de nombreux avantages, notamment l'absence de licence, une grande bande passante et aucune interférence électromagnétique. De plus, les rayons optiques étant confinés dans l'environnement, cette technologie est robuste en termes de sécurité vis-à-vis de l'interception des communications.

Le Li-Fi englobe les transmissions optiques sans fil, dans le domaine visible mais aussi les communications dans le domaine de l'infrarouge (IR), notamment pour la voie montante lorsqu'il n'est pas souhaité d'avoir un faisceau lumineux en même temps que la communication. L'infrarouge est en effet un rayonnement électromagnétique possédant les mêmes propriétés que la lumière et est invisible à l'œil nu. La technologie optique sans fil est explorée depuis de nombreuses années (Al-Ahmadi : 2018, Cogalan ; Haas : 2017, Arnon ; Barry : 2012, Arnon : 2015, Dimitrov ; Haas : 2015, Ghassemlooy : 2017) et utilisée aussi bien dans le domaine

---

1 IEC 60601-1.2014, Medical electrical equipment - 62A: Common aspects of electrical equipment used in medical practice.

2 LOI n° 2015-136 du 9 février 2015  
<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2015/2/9/DEVX1402671L/jo/texte> [Accessed: 21-Nov-2019]

3 <https://purelifi.com> [Accessed: 21-Nov-2019 ]

civil que dans le domaine militaire. De plus, dans le domaine du proche infrarouge (entre 700 et 1400nm) les risques oculaires de ce type de rayonnement sont bien connus et normalisés<sup>4</sup>.

L'utilisation du spectre optique présente ainsi des potentialités pour un large éventail d'application et constitue une alternative prometteuse dans les environnements sensibles aux perturbations électromagnétiques ou lorsque les RF sont déconseillées. De plus, l'utilisation du Li-Fi dont la mise en œuvre possède un bilan énergétique allégé par rapport aux solutions existantes pour la transmission de données, possède une dimension économique et écologique. En contribuant à la diminution de l'impact RF, cette technologie apporte une réponse aux besoins environnementaux et contribue à la mise en place d'un mode de consommation écoresponsable.

Le domaine de l'optique offrant une large bande passante, les communications par optique sans fil sont classiquement envisagées pour des transmissions hauts débits, généralement courte portée et/ ou en visibilité directe afin d'éviter les blocages potentiels. L'utilisation de cette technologie de communication dans le contexte des réseaux de capteurs corporels (BAN : Body Area Network) constitue une originalité des travaux réalisés dans l'équipe impliquant des challenges spécifiques. Il faut tenir compte en particulier des contraintes de mobilité des émetteurs et récepteurs au cours de la transmission et des effets de blocages associés. De plus, pour le suivi de paramètres de santé, ce ne sont pas de hauts débits qui sont visés mais une grande fiabilité, une faible consommation d'énergie et un niveau de sécurité important. Par nature même, l'optique ne traversant pas les murs, la question de fuite de données à l'extérieur est réduite de manière inhérente par rapport aux transmissions radiofréquences. Ainsi, dans les travaux menés, l'enjeu principal consiste à trouver le meilleur compromis entre consommation et fiabilité de la liaison.

La section suivante présente les caractéristiques des principaux éléments d'une liaison optique sans fil dans un WBAN, qui entrent en jeu dans le dimensionnement et la recherche de compromis. Une section présentera la démarche effectuée pour l'évaluation des performances. Les différents projets menés dans l'équipe sont ensuite présentés faisant apparaître les originalités et pluridisciplinarité que cela implique avant de conclure sur les enjeux actuels et futurs.

## Principaux éléments d'une liaison optique sans fil pour les WBAN

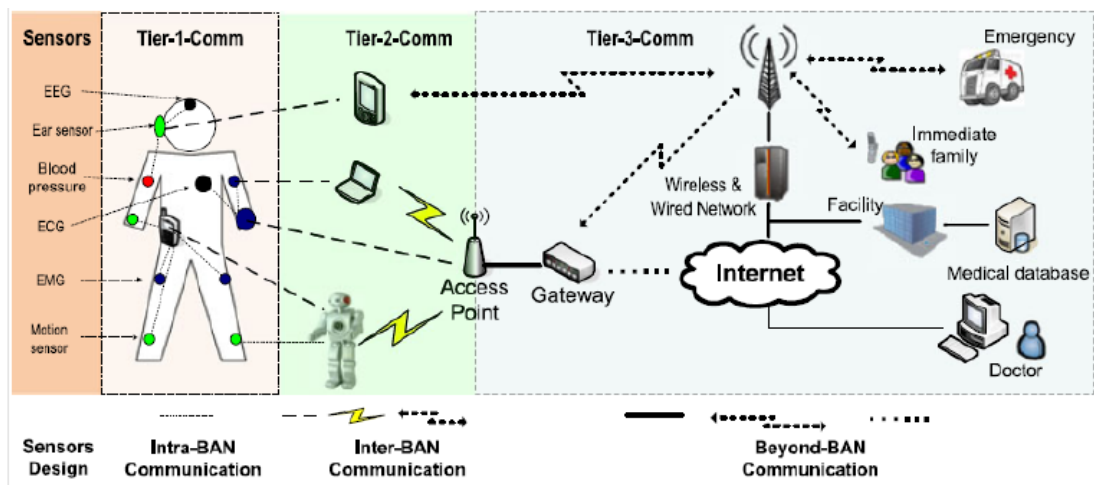
### WBAN et typologie de liaisons

Dans un WBAN on considère qu'un ou plusieurs nœuds communicants sont positionnés sur le corps afin de transmettre des informations à un point de collecte lui aussi sur le corps ou dans la pièce. Les informations peuvent ensuite être traitées à distance comme l'illustre la Figure 1.

---

<sup>4</sup> IEC 62471 (2006) Photobiological safety of lamps and lamp systems (identical with CIE S009

**Figure 1** : Architecture WBAN avec une analyse plus globale

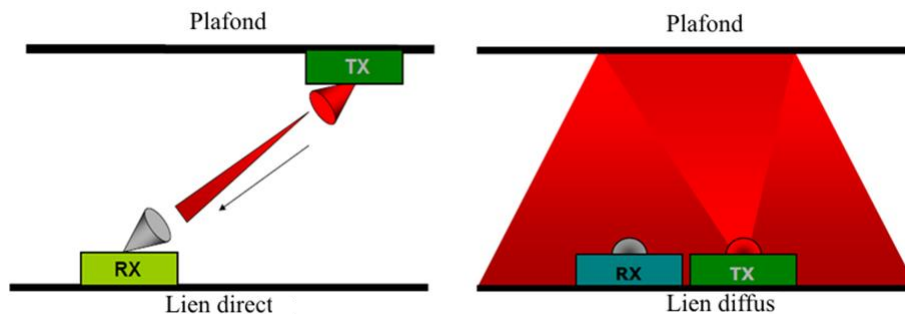


©Chen et al. Mobile Network Appl. 2011

Source : Chen et a. Mobile Network Appl. 2011

Pour une transmission optique sans fil, deux types de liaisons peuvent exister : les liaisons dites en ligne de vue directe (l'émetteur et le récepteur se font face et la transmission est très directive) et les liaisons dites diffuses, où au contraire aucun alignement n'est nécessaire, les angles d'ouverture en émission et réception sont larges et les réflexions dans l'environnement contribuent au signal reçu. La figure 2 illustre ces deux types de liaisons.

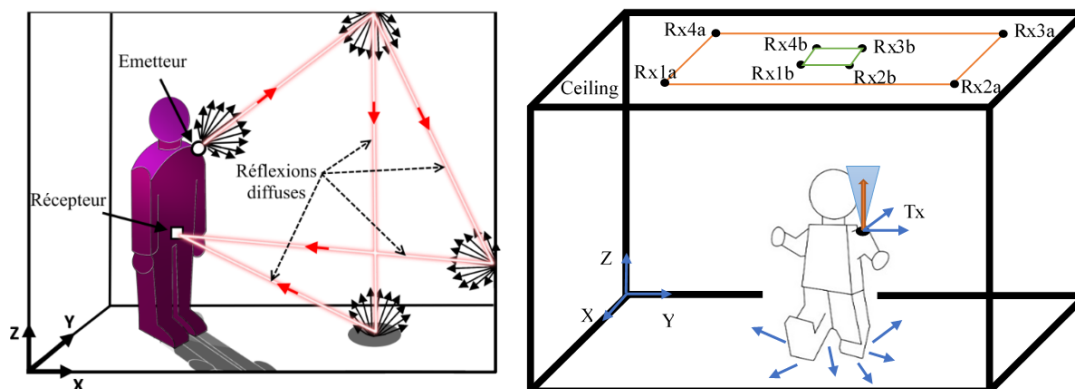
**Figure 2** : Liaisons optiques : ligne de vue directe et diffuse



Source : les auteurs de l'article

Étant donnée la diversité des géométries entre émetteurs et récepteurs pouvant exister selon l'emplacement des nœuds sur le corps, pour une réalisation en optique, il est impossible d'envisager des liaisons en ligne de vue directe, c'est pourquoi on utilisera plutôt des communications diffuses, comme l'illustre la Figure 3. La figure 3(a) représente le cas où un émetteur et un récepteur sont portés, tandis que la figure 3(b) correspond au cas où plusieurs récepteurs sont fixes dans l'environnement et un seul émetteur est porté. Ainsi, avec les travaux que nous avons réalisés dans l'équipe sur ce sujet, nous avons initié le concept de WBAN optiques (Julien-Vergonjanne : 2016).

**Figure 3** : Schéma de principe d'un WBAN avec des nœuds optiques en liaison diffuse



Source : les auteurs de l'article

Quelle que soit la configuration, les paramètres influant la qualité de la transmission sont donc : les caractéristiques de l'environnement (taille de la pièce, présence éventuelle d'obstacles : mobiliers, personnes, ... coefficient de réflexion des éléments) ainsi que les caractéristiques des émetteurs et récepteurs.

## Emetteurs

Les émetteurs optiques utilisés pour les communications sans fil sont généralement des LEDs (Light Emitting Diodes ou DEL Diode Electro Luminescentes) qui sont moins directives et moins couteuses que des diodes lasers utilisées en télécommunication sur fibre par exemple. Une caractéristique essentielle d'une LED est justement sa directivité ou son demi-angle à mi puissance c'est-à-dire l'angle auquel on obtient la moitié de la puissance au centre du faisceau. Selon les configurations géométriques de l'environnement, des angles plus ou moins larges apportent un intérêt ou non. C'est donc un paramètre qu'on est amené à faire varier pour chacune des études réalisées. On peut noter que la plupart du temps, un demi-angle de 30° conduit à des configurations optimales. De plus, une LED transforme un courant en une puissance optique de manière proportionnelle. Aussi, la puissance transmise sera fixée à partir du schéma électrique mis en place pour piloter la LED (driver) fixant alors le niveau de courant qui la traverse.

## Récepteurs

En réception, la méthode la plus simple consiste à faire de la détection directe avec une photodiode de type PIN suivie d'un montage d'amplification permettant de faire la conversion courant /tension. En effet, une photodiode se comporte à l'inverse des LEDs comme un convertisseur de puissance optique en courant. Il convient donc afin d'exploiter ensuite le signal, de le convertir en niveau de tension et de l'amplifier. L'électronique ajoutée en réception constitue une source de bruit prépondérante qui apporte une dégradation de la qualité de la transmission. Aussi, le facteur de conversion (ou sensibilité en A/W) est un paramètre important d'une photodiode : plus il est élevé, plus le niveau du signal électrique produit en réception est élevé. Les récepteurs sont caractérisés également par leur directivité au travers du paramètre de FOV (Field of view ou angle de vue). Un modèle couramment utilisé consiste à considérer que tout signal incident à l'extérieur du FOV du récepteur n'est pas reçu.

Les temps de réponse et bande passante des composants d'émission et de réception sont bien entendu également des paramètres importants qui peuvent devenir limitants selon le débit de transmission visé et le format de modulation numérique choisi.

## Démarche et évaluation des performances

Pour chacun des scénarios envisagés, la démarche consiste tout d'abord à dimensionner le système. Pour cela, une première étape est effectuée en simulation. Elle consiste à l'aide d'un logiciel de tracé de rayons développé dans l'équipe : RapSor (Behloul : 2014) à caractériser le canal de transmission entre l'émetteur et le récepteur. L'environnement y est modélisé par la définition de parois et éléments présents dont on spécifie la taille et le coefficient de réflexion. Les caractéristiques des émetteurs et récepteurs (positions, orientations, directivité) sont également prises en compte dans la modélisation.

Cet outil permet ensuite de caractériser théoriquement le canal de transmission en obtenant sa réponse impulsionnelle. Ensuite, une analyse des performances est effectuée en calculant théoriquement les performances en termes de fiabilité de la liaison à partir de la réponse impulsionnelle du canal et en considérant un scénario de mobilité donné dans la pièce. Ainsi, en faisant varier les paramètres des émetteurs / récepteur, il est possible de trouver les configurations optimales pour le scénario étudié.

Un autre volet de l'évaluation de performances consiste en la conception et réalisation de prototypes afin de faire des campagnes de mesures expérimentales et les confronter aux résultats théoriques en mesurant le taux de perte de paquets. La section suivante présente les différentes réalisations.

## Projets réalisés : originalité et pluridisciplinarité

Les premiers travaux réalisés par l'équipe dans le contexte des WBAN optiques consistaient à transmettre des données physiologiques (température, fréquence cardiaque) de personnes en situation de fragilité (post AVC) au cours du temps lors d'activités du quotidien. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'un projet régional impliquant l'équipe de recherche HAVAE de l'Université de Limoges, le CHU de Limoges et Legrand<sup>5</sup>. Le contexte médical et hospitalier (les mesures devaient se faire dans une zone du CHU dédié à la réadaptation des personnes post-AVC) nous a ainsi conduits à mettre en œuvre des communications sans radio basées sur l'optique sans fil. De plus, afin de ne pas créer de perturbation visuelle, ce sont les communications dans le domaine de l'infrarouge qui ont été choisies.

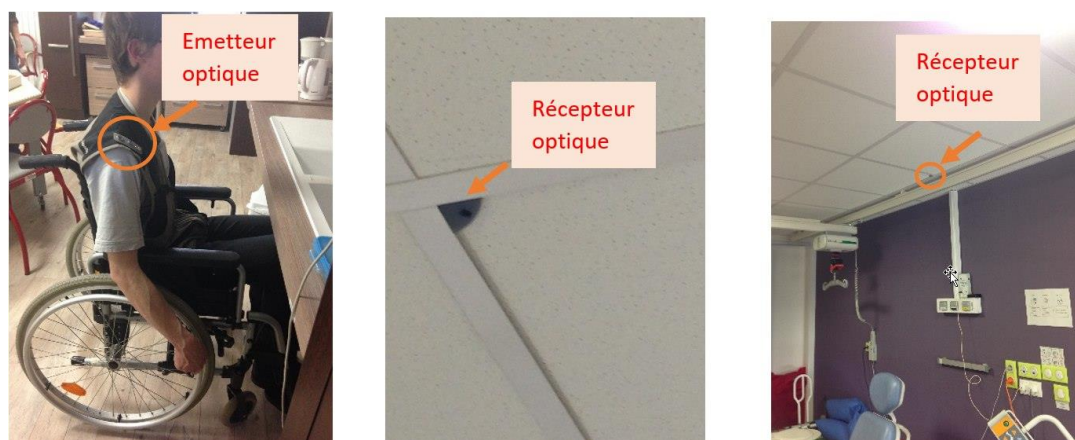
Ainsi nous avons conçu des dispositifs émetteurs en IR portés par les patients, couplés à une ceinture cardiaque, transmettant les informations au rythme des battements du cœur de chaque patient suivi. Afin d'assurer une transmission robuste malgré la mobilité et les obstacles, plusieurs récepteurs ont été déployés au plafond de l'environnement. Offrant ainsi une diversité spatiale, cela permet une meilleure couverture et donc moins de pertes de paquets transmis. Les récepteurs ensuite reliés entre eux au travers d'un réseau local permettaient l'affichage déporté sur une interface destinée au personnel soignant pour une meilleure analyse des efforts

---

<sup>5</sup> Projet SAPHIRALE (2000-2014) « Surveillance Avancée des Patients en milieu Hospitalier à l'aide de l'InFRARouge et des Lignes d'Énergie », associant XLIM, HAVAE, CHU de Limoges, LEGRAND et ADETEL Wirewave <https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/projets/la-recherche-au-service-des-victimes-daccidents-vasculaires-cerebraux>

fournis par les patients au cours d'activités classiques. La figure 4 présente une vue de l'environnement ainsi que du dispositif réalisé.

**Figure 4** : Environnement du projet SAPHIRALE



Source : les auteurs de l'article

Ce projet a permis de réaliser une première preuve de concept de transmission optique sans fil pour des données de santé. Étant donné les faibles débits et périodicité de transmission, on pouvait ainsi suivre jusqu'à 4 patients simultanément. Il était alors possible d'étudier les indicateurs des patients et de mettre en œuvre des conseils personnalisés avant le retour au domicile.

Dans la continuité de ces travaux et toujours en collaboration avec l'équipe HAVAE, un autre scénario étudié dans le cadre du projet TICAADOM<sup>6</sup> consistait à suivre l'activité physique de personnes en situation de fragilité afin notamment de prévenir un processus de décompensation lié à un manque d'activité. Pour cela, nous avons modifié le dispositif porté afin qu'il mesure des données d'accélérométrie. Au niveau de la réception, celle-ci était basée sur le même principe que précédemment avec un ensemble de récepteurs situés au plafond de l'environnement et reliés à une interface réalisant le calcul et l'affichage de la dépense énergétique.

Le concept précédent a ensuite été étendu dans le cadre d'un projet porté par la chaire « e-santé et bien vieillir » de la fondation partenariale de l'Université de Limoges et soutenu par la Caisse d'Assurance Retraite et de la Santé au Travail Centre Ouest (CARSAT)<sup>7</sup>. Dans ce projet, on cherchait à quantifier la distance parcourue au cours d'un test de marche au protocole normalisé (6MWT<sup>8</sup>) avec un objectif d'incitation à l'activité physique. Ainsi, il s'agissait d'analyser des données d'accélérométrie avec de nouvelles contraintes à savoir pouvoir obtenir les données dans des environnements divers, en intérieur et extérieur. Dans le cadre des transmissions en espaces extérieurs, les transmissions optiques ne permettaient pas d'assurer la fonctionnalité, aussi une version des dispositifs portés a été réalisée avec la technologie Bluetooth. De plus afin de pouvoir faire des mesures en n'importe

6 Projet TICAADOM (2011-2014) sur le suivi à distance de l'activité physique adaptée de patients en post-AVC, associant XLIM, HAVAE et le CHU de Limoges.

7 Projet « Innovations et services pour l'incitation à l'activité physique des personnes âgées autonomes mais fragilisées » (2017-2019) subventionné par la Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail (CARSAT) centre-ouest, associant la Fondation Partenariale de l'U. de Limoges, XLIM, HAVAE, le CeRes (laboratoire de Sémiotique).

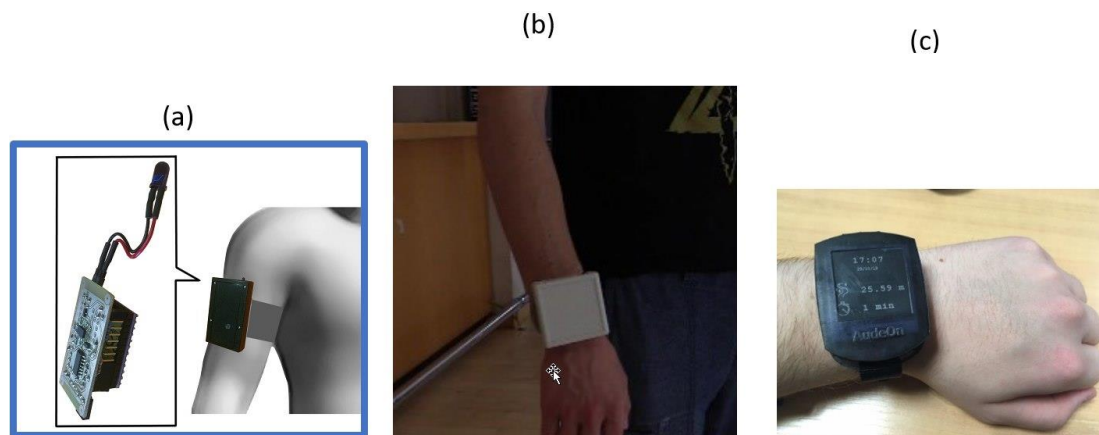
8 <https://www.irbms.com/test-de-marche-de-six-minutes-6mwt/>



quel lieu, en intérieur, une version portable des récepteurs situés sur un mat a été réalisée.

La figure 5 représente le dispositif mis en œuvre dans le cadre du projet TICAADOM (a), avec une version optique et Bluetooth mise en œuvre dans le cadre du projet CARSAT (b).

**Figure 5** : Dispositif basé sur l'accéléromètre (TICAADOM, CARSAT)



Source : les auteurs de l'article

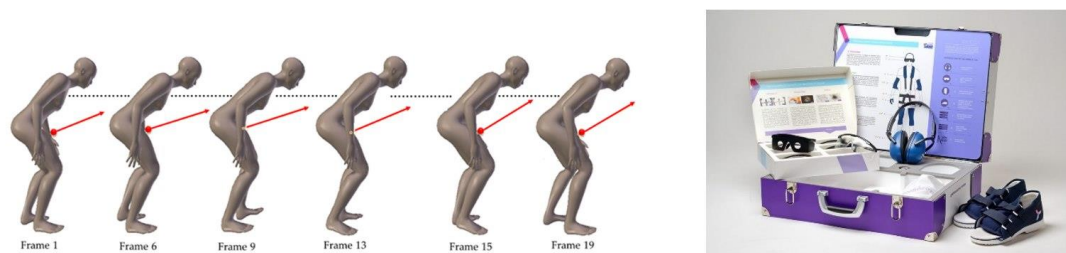
CISTEME a contribué au développement de ce dispositif sur les aspects intégration électronique, pilotage du capteur d'accélérométrie, et connectivité pour la remontée des données. Dans un rôle de maturation technologique, CISTEME a apporté son expertise sur la réalisation de démonstrateurs et de preuves de concepts.

## Conclusion, enjeux actuels et futurs

Actuellement l'équipe continue le développement à la fois théorique et expérimental de systèmes de communication optique sans fil pour les WBAN dans des contextes particuliers : l'étude de système hybride optique et radio afin d'assurer le lien en toute circonstance lors du déplacement d'une personne âgée (une thèse actuellement en cours, et un projet collaboratif multidisciplinaire ADEPINA) mais aussi l'étude de scénarios de suivi de données de santé pour les nourrissons (deux thèses en cours dans le cadre d'un projet région soutenu par Cisteme). Pour mener à bien ces objectifs, CISTEME accompagnera le laboratoire autour de ces sujets, par la réalisation de démonstrateurs implémentant les différentes briques technologiques développées (communications optiques sans fil et hybrides, modulations, codages, techniques d'accès multiples...), ainsi que la définition de scénarios réalistes dans lesquels tester et évaluer les performances de ces démonstrateurs.

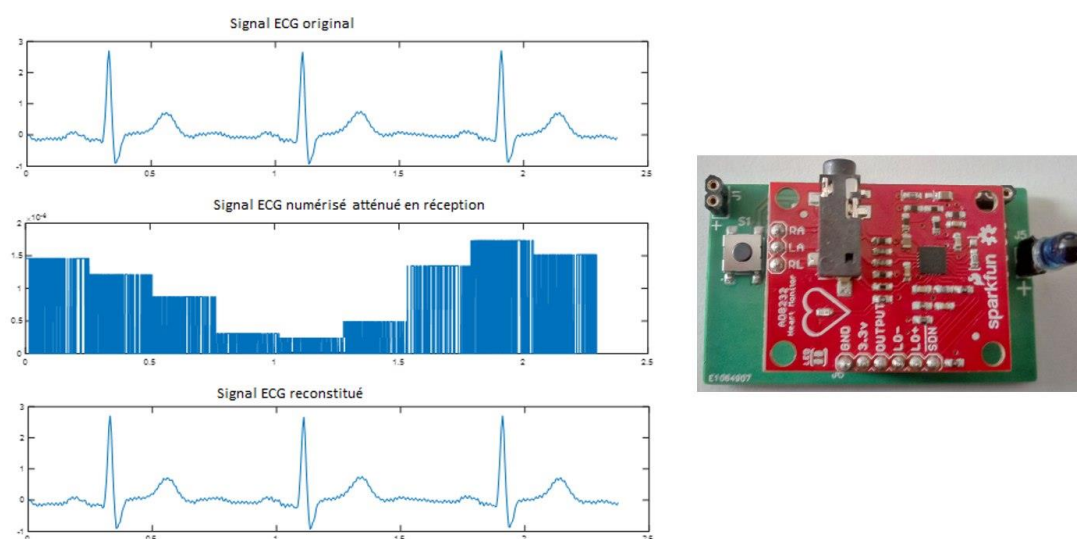
Un enjeu et une originalité dans chacun de ces contextes est la prise en compte de la mobilité particulière : pour la personne âgée, la vitesse et la stature différentes d'une personne « normale ». Des études sont menées sur l'impact de ces paramètres sur les performances de la transmission et l'optimisation de l'algorithme permettant le basculement d'une technologie de transmission à une autre en fonction de l'état du canal. Dans le contexte du lit de bébé connecté, des rotations et mouvements du bébé dans le lit sont pris en compte. De plus, on s'intéresse à la transmission de données particulières, comme l'ECG (électrocardiogramme), sans fil et sans onde radio, en mobilité ce qui représente un enjeu en termes de débit et de qualité de transmission.

**Figure 6** : Exemple de scénario de marche pour la personne âgée, simulateur de vieillissement



Source : les auteurs de l'article

**Figure 7** : Exemple de transmission d'un signal d'ECG sans fil sans radio et sa reconstitution, premier prototype de transmission d'ECG sans fil en optique



Source : les auteurs de l'article

La figure 6 représente le scénario de mobilité et le modèle pris en considération pour l'évaluation des performances de transmission dans le cadre du suivi de données physiologiques de la personne âgée en mobilité ainsi que le kit de simulateur de vieillissement utilisé pour les expérimentations. La figure 7 montre un exemple de signal d'ECG sans fil et sans radio, transmis au cours du temps, numérisé, atténué à cause des variations du canal puis reconstitué ainsi qu'un premier prototype sans fil pour la transmission sans fil sans radio réalisé dans l'équipe.

Enfin, la consommation, la durée de vie et la dimension écologique dans le déploiement massif actuel des technologies de communication sont d'importance capitale. Les communications optiques utilisant la lumière, se prêtent par nature même à la récupération d'énergie lumineuse. Ceci nous a conduit à développer des collaborations avec d'autres équipes d'XLIM travaillant sur la conception de cellules solaires. Ainsi, de nouveaux projets autour de l'étude de dispositifs communicants, autonomes en énergie, à base de cellules réalisant ainsi à la fois le décodage de données et la récupération d'énergie sont actuellement en cours, ce qui représente un enjeu majeur pour l'avenir. CISTEME est également engagé dans une démarche d'éco-conception électronique et est à ce titre partenaire dans ces futures collaborations.

Les auteurs remercient la fondation partenariale de l'Université de Limoges, la chaire « e-santé, bien-vieillir et autonomie », et la Caisse d'Assurance Retraite et Santé Au Travail (CARSAT) Centre-Ouest pour leur soutien.

## Références

- Al-Ahmadi, Saad et al. (2018). "Multi-User Visible Light Communications: State-of-the-Art and Future Directions." *IEEE Access* 6, 70555-70571.
- T. Cogalan and H. Haas (2017). "Why would 5G need optical wireless communications?" *IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. Montreal QC: pp. 1-6.
- Arnon, S. ; Barry, J. ; Karagiannidis, G. ; Schober, R. ; Uysal, S. (2012). *Advanced Optical Wireless Communication Systems*. NY, USA: 1st ed. Cambridge University: Press New York.
- S. Arnon, (2015). *Visible Light Communication*, NY, USA: 1st Ed..Cambridge University Press New York.
- S. Dimitrov and H.Haas (2015). *Principles of LED Light Communications Towards Networked Li-Fi*, UK, Cambridge: University Press, 1st Ed.
- Z. Ghassemlooy, L.N. Alves, S. Zvanovec and M-A Khalighi (2017). *Visible Light Communications: Theory and Applications*. Boca Raton: 1st Ed., FL, USA, CRC Press, Inc.
- Julien-Vergonjanne, A., Sahuguede, S. and Chevalier, L (2016). "Optical Wireless Body Area Networks for Healthcare Applications". In *Optical Wireless Communications: An emerging technology*. Springer International Publishing, chap.26, pp 569-587, Aug.2016, doi: 10.1007/978-3-319-30201-0\_26
- A. Behlouli et Al. (2014). "Efficient Simulation of Optical Wireless Channel Application to WBANs with MISO Link". *Procedia Computer Science*, 40(0) :190 - 197, 2014. Fourth International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (MoWNet2014).