



HAL
open science

Conception, réalisation et caractérisation d'un patch électronique pour la surveillance des personnes âgées et dépendantes

Bouchta Hajjine, Christophe Escriba, Jean-Yves Fourniols

► To cite this version:

Bouchta Hajjine, Christophe Escriba, Jean-Yves Fourniols. Conception, réalisation et caractérisation d'un patch électronique pour la surveillance des personnes âgées et dépendantes. Journées Nationales du Réseau Doctoral en Microélectronique (JNRDM 2016), May 2016, Toulouse, France. 6p. hal-01892262

HAL Id: hal-01892262

<https://laas.hal.science/hal-01892262>

Submitted on 10 Oct 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Conception, réalisation et caractérisation d'un patch électronique pour la surveillance des personnes âgées et dépendantes

Bouchta HAJJINE¹, Christophe ESCRIBA¹ et Jean-Yves FOURNIOLS¹

¹ CNRLAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, INSA, Toulouse, France

E-mail: bhajjine@laas.fr, cescriba@laas.fr, fournivals@laas.fr

Résumé

C'est avéré, selon les dernières études du département des affaires économiques et sociales de l'ONU, 30% de la population Française dépassera l'âge des 60 ans en 2035. Avec comme effet des modifications socio-économiques très significatives, notamment dans le secteur d'activité de la santé. Il découle de ce constat une problématique notoire de dépendance des personnes âgées, d'incapacité à vivre sans accompagnement et pour certaines personnes souffrant de problèmes cognitifs, un besoin quotidien de surveillance. C'est donc dans ce contexte que le LAAS-CNRS et ses partenaires Sigfox, Telecom Design, Axible Technologies avec le centre hospitalier du val d'Ariège se sont regroupés autour du programme de recherche SACHA (Search And Computerize Human Acts). L'ambition de notre laboratoire vise le développement d'un produit innovant : un patch électronique miniature capable de géolocalisation pour déclencher des alarmes en cas de fugue, de chute ou de déambulation. Au terme d'une étude sur les technologies d'intégration permettant l'obtention de système très miniature notre étude s'est initialement focalisée sur le dimensionnement d'antennes intégrées 868MHz et 1575,42MHz compatibles avec les exigences dimensionnelles du projet. Un travail de modélisation aux éléments finis a permis l'obtention d'antennes imprimées présentant un bon compromis intégration/performance. Parce que le patch doit être robuste et totalement étanche, un travail de dimensionnement de bobine imprimée a été développé pour assurer une recharge sans fil de la batterie. Plusieurs prototypes ont été testés et validés en centre d'EHPAD. Actuellement un travail en salle blanche du LAAS se poursuit avec le souhait d'obtenir une version souple du patch.

1. Introduction

Selon les dernières études démographiques mondiales, la population française ayant une moyenne d'âge de 60 ans dépassera le seuil des 30% d'ici l'année 2035 [1]. Avec pour conséquence des modifications sociétales françaises significatives, notamment dans les secteurs d'activités du transport, du logement mais surtout de la santé. Concernant ce dernier point, la probabilité d'être affecté par des troubles de la santé s'accroît avec l'âge, autrement dit, une fragilité des personnes certaine avec comme problématique, la dépendance et l'incapacité à vivre sans un accompagnement. Dès lors, la technologie au service des personnes âgées semble être une solution qui permettrait le maintien à domicile. Pour répondre à cette problématique socio-économique, des dispositifs spécifiques ont été développés dans le cadre de la maison intelligente avec l'utilisation des réseaux de capteurs [2,3], des systèmes portables tels que les montres [4], ou bien encore de systèmes bio mesures à coller directement sur la peau matérialisés sous la forme de patch [5]. Il existe également des dispositifs invasifs implantables [6].

Le LAAS-CNRS atteste d'une expérience de plus de deux décennies dans le domaine de la surveillance de santé humaine HHM (Human Health Monitoring). Plusieurs projets (PROSAFE [7], HOMECARE, FOOT-TEST, RESPECT [8]) ont été menés dans ce sens. C'est donc dans ce contexte que le programme de recherche SACHA (Search And Computerize Human Acts) s'inscrit avec pour objectif le développement d'un patch électronique. Dans cet article, nous décrirons les fonctionnalités du tracking patch. Ensuite, nous détaillerons les travaux de dimensionnement et de miniaturisation des antennes que nous avons développées. Puis, nous présenterons la technologie de recharge sans fil retenue, l'étude spécifique du process de

réalisation technologique en salle blanche du LAAS-CNRS pour le développement des bobines imprimées et leur test électrique. Enfin, un bilan des travaux sera présenté avec ses perspectives.

2. Tracking patch

Notre ambition vise le développement d'un patch électronique pour la surveillance des personnes souffrant de problèmes cognitifs. Usuellement, cette catégorie de personnes est installée dans des établissements spécialisés tel que des EHPADs (Etablissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes). Notre dispositif est capable de déclencher des alarmes en cas d'anomalie comme les chutes ou le dépassement d'une zone de sécurité permettant d'identifier les cas de fugues pour activer la fonction de géolocalisation et de tracking. Le transfert d'informations est assuré par la communication avec les stations Sigfox en se basant sur la bande ISM 868 MHz.

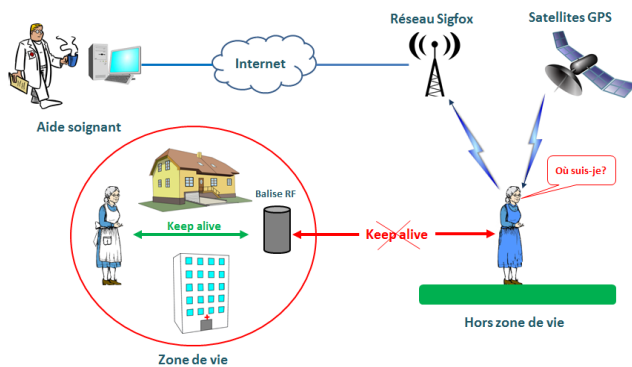


Figure 1. Principe du patch SACHA

Comme présenté sur la figure 1, la zone de vie est déterminée par un lien qualifié de « keepalive » situé entre le patch et une balise RF. C'est la rupture de cette liaison qui déclenche une alarme de fugue et active la fonction GPS (Global Positioning System) pour assurer la fonction de géolocalisation. La détection de chute est basée sur l'utilisation d'un accéléromètre trois axes qui permet d'assurer une mesure de mouvement. Ces données sont traitées au moyen d'un algorithme spécifique avec des fonctions d'analyse, d'identification, de détection et de confirmation.

Notre patch électronique est développé pour être porté entre la colonne vertébrale et l'omoplate d'une personne (figure 2). Cet emplacement spécifique permet de minimiser les problèmes d'arrachement ou bien encore d'oubli chez les personnes en phases avancées de la maladie d'Alzheimer. Pour éviter tout problème de biocompatibilité, notre dispositif sera encapsulé entre deux pansements médicaux.

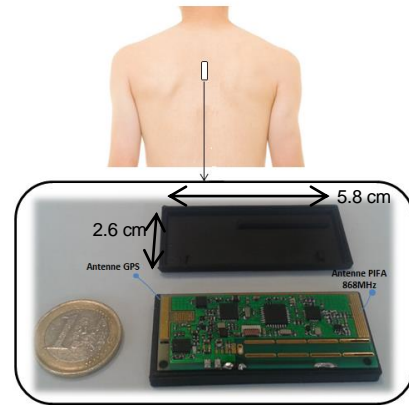


Figure 2. Tracking patch dans son packaging

Le tracking patch est équipé d'une petite batterie planaire (1mm d'épaisseur) permettant d'assurer un fonctionnement opérationnel nominal de 3 jours et une durée d'utilisation de 13 heures après activation GPS, ceci, lorsque la fonction détection de fugue est activée.

3. Les liens radio du patch électronique

Le patch est équipé de deux antennes : 868 MHz et 1575.42 MHz. La première vise la communication avec la balise et/ou le réseau Sigfox, la seconde est destinée à la fonction de géolocalisation par GPS. Le design de ces deux antennes doit impérativement respecter les contraintes dimensionnelles du patch tout en présentant un bon compromis intégration/performances. Pour notre dispositif, le choix s'est porté sur l'utilisation des antennes PIFA (Printed Inverted F Antenna), ce sont des antennes à quart d'onde.

3.1. Design des antennes dans la bande ISM, 868 MHz et GPS

Sachant que les dimensions théoriques des brins rayonnants des deux antennes ne sont pas compatibles avec celles du patch, $\lambda/4=8.64$ cm (bande ISM 868 MHz) et $\lambda/4=4.76$ cm (bande L1-GPS), une méthode de miniaturisation basée sur des méandres a donc été adoptée. Un travail de modélisation dans l'environnement de travail ADS (Advanced Design System) [9] et HFSS (High Frequency Structural Simulator) [10] a été mené pour dimensionner et étudier l'influence des différents paramètres physiques des antennes : empilements des couches, nature des matériaux, dimensions, diagramme de rayonnement, performances électriques (gain, S11, etc.), phénomènes de couplage entre elles.

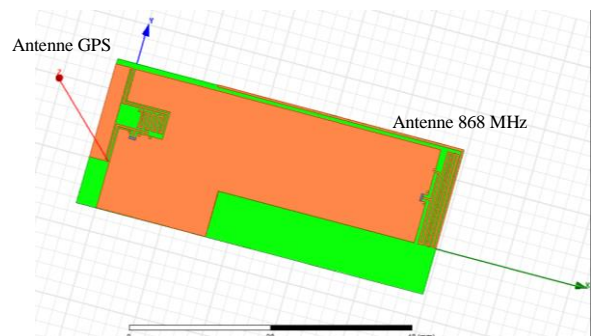


Figure 3. Simulation des deux antennes PIFA

Après la validation des designs par simulation, les deux antennes ont été fabriquées sur un PCB de type FR4 puis caractérisées. Les figures 4 et 5 présentent des comparaisons entre les différents coefficients de réflexion simulés et mesurés au moyen d'un analyseur de réseau vectoriel (VNA) E5061B de chez Agilent Technologies.

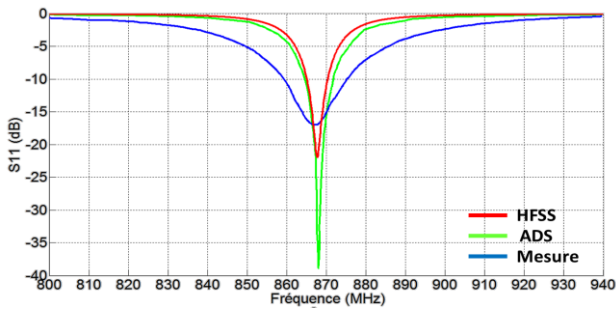


Figure 4. Coefficient de réflexion de l'antenne ISM 868 MHz

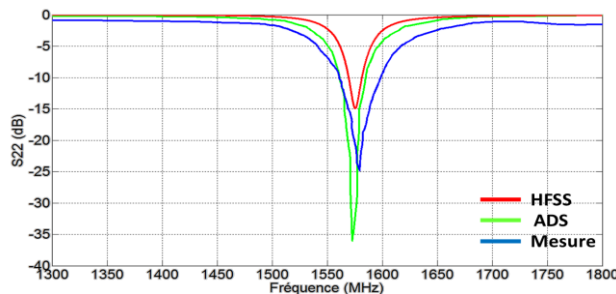


Figure 5. Coefficient de réflexion de l'antenne GPS

Les résultats issus d'une campagne de mesure sont synthétisés dans le tableau 1 présenté ci-dessous. Nous retiendrons que les valeurs mesurées sont relativement proches de la théorie.

	Antenne ISM		Antenne GPS	
	S11 @ 868 MHz	BW	S22 @ 1575.42 MHz	BW
ADS	-38 dB	7.3 MHz	-36.8 dB	25 MHz
HFSS	-21 dB	5.3 MHz	-15 dB	12 MHz
Mesures	-16.4 dB	16.2 MHz	-19.8 dB	39 MHz

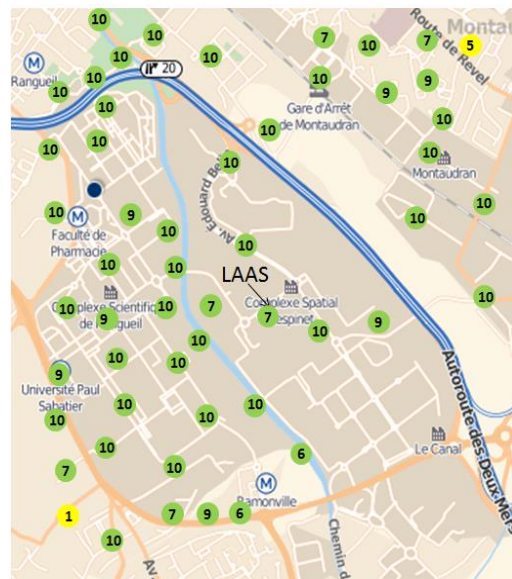
Table 1. Performances des antennes développées

3.2. Test des performances radio

Après ce travail de modélisation et de dimensionnement, les deux antennes ont été testées et validées dans des conditions réelles de fonctionnement : portées sur le corps humain avec la présence du packaging et des pansements.

Pour évaluer les tests de portée de l'antenne ISM, un maillage géographique à la périphérie de notre laboratoire a été établi. Pour chacun des points mesurés, une quantité de 10 trames a été envoyée puis comparée par rapport au nombre total des trames reçu. Les chiffres présentés dans la figure 6 correspondent donc aux signaux reçus par rapport aux 10 trames initialement envoyées. Les points verts correspondent à un pourcentage de réception supérieur à 50% tant que les points jaunes représentent un pourcentage de 10% ou 50%. Ces résultats révèlent que même avec l'influence du corps, seulement deux points (3,77 % du nombre total) ont une qualité de

communication inférieure à 6 trames réceptionnées. Ces tests valident donc le bon fonctionnement de la communication RF.



points	Qualité de réception
67.92%	10
13.2%	9
0%	8
11.32%	7
3.77%	6
3.77%	≤ 5

Figure 6. Résultat des tests de portée de l'antenne PIFA 868MHz

4. Recharge sans fil du patch électronique

Pour assurer une utilisation simple et une étanchéité du patch, le choix d'intégrer une fonctionnalité de recharge sans fil par induction magnétique s'est avéré le plus judicieux. Une étude comparative des différents standards et protocoles connus dans ce domaine nous a permis de sélectionner le protocole Qi [11]. C'est aussi le plus utilisé pour la recharge des systèmes mobiles (tablettes et smartphones).

Le système de recharge par induction (figure 7) est composé de deux parties principales : un émetteur (station de base) et un récepteur (dispositif mobile). Lorsque les deux bobines sont suffisamment proches l'une de l'autre (émission et réception), le transfert d'énergie s'effectue par un phénomène physique d'induction magnétique.

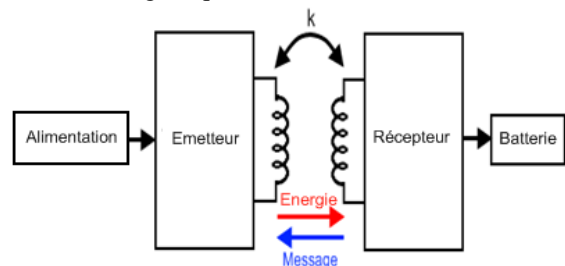


Figure 7. Principe du transfert d'énergie par induction.

Dans le cadre du programme de recherche SACHA, la partie émettrice n'a pas fait l'objet d'étude puisque ce type de stations est déjà commercialisé. Concernant le récepteur (le patch), l'une des premières difficultés

rencontrées a résidé dans la taille des bobines commercialisées (figure 8). En effet, compte tenu des exigences d'intégration du patch, ces dernières présentent des facteurs de forme encombrants qui limitent la possibilité de les utiliser. Nos efforts se sont donc focalisés sur l'intégration de l'antenne du récepteur.

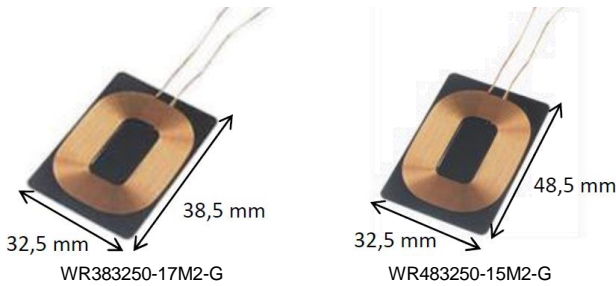


Figure 8. Exemples de bobines commercialisées pour la recharge sans fil.

Les dimensions de cette bobine ne devant pas être supérieures à celle du patch, nous avons décidé d'intégrer la bobine sous la batterie afin de minimiser l'encombrement. L'empilement des différentes couches constitutives du patch est représenté sur la figure 9. L'ajout d'une couche supplémentaire de ferrite entre la batterie et la bobine permet d'optimiser les performances du couplage magnétique.

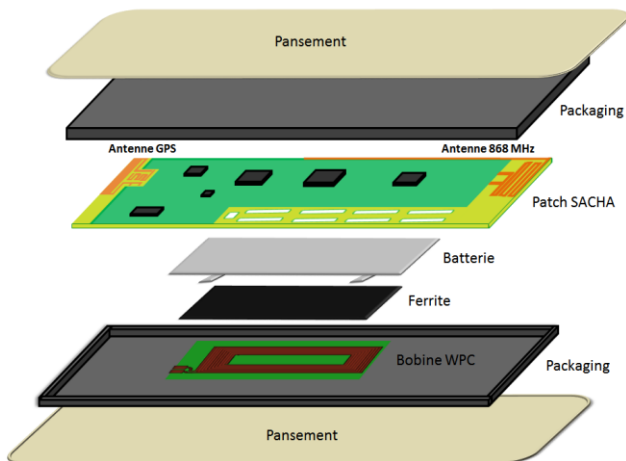


Figure 9. Empilement des différentes couches du patch électronique

4.1. Design de la bobine de recharge

Avant d'initier la fabrication, une étape de simulation a été développée pour valider les performances du modèle proposé. Les dimensions de la bobine (figure 10) ont été choisies en se basant la surface totale de la batterie. Un substrat de type polyimide avec une épaisseur de 50 μm sera utilisé comme support des pistes de cuivre caractérisées par une épaisseur de 17 μm , une largeur de 520 μm et une isolation inter piste de 80 μm .

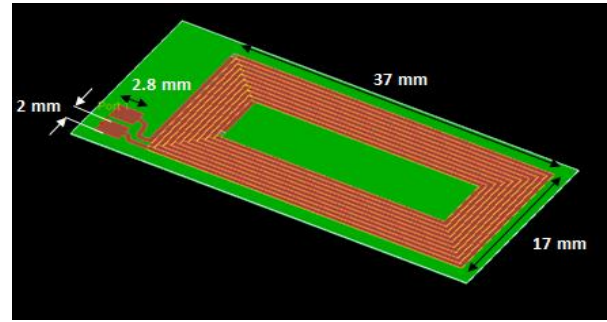
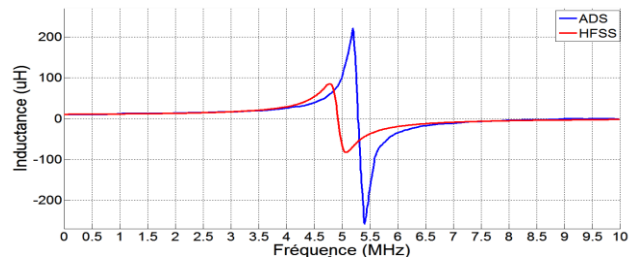
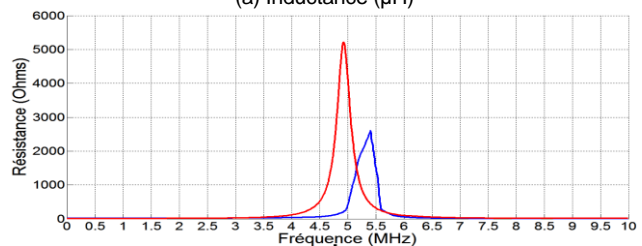


Figure 10. Bobine imprimée pour la recharge sans fil.

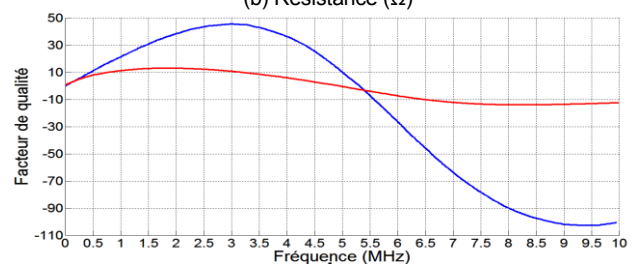
Les courbes de simulation obtenues avec les outils ADS et HFSS sont présentées dans la figure 11. On identifie bien que la résonance de la bobine est atteinte à une fréquence voisine de 5.3 MHz pour ADS et 4.9 MHz pour HFSS. Ces deux fréquences ont été ajustées de sorte à assurer des paramètres électriques quasi-constants dans la plage d'utilisation du protocole Qi (110-205 KHz). Dans cette gamme de fréquence, les bobines simulées dans l'environnement de travail ADS présentent une inductance de 10,74 μH , une résistance de 3 Ω et un facteur de qualité de 3.37@ 150 KHz. Concernant les résultats obtenus avec le logiciel HFSS, la bobine présente une inductance de 10.71 μH , une résistance de 3.25 Ω et un facteur de qualité de 3.1@ 150 KHz. Ces résultats sont en adéquation avec les standards des bobines industrielles commercialisées.



(a) Inductance (μH)



(b) Résistance (Ω)



(c) Facteur de qualité

Figure 11. Comparaison des résultats de simulation obtenus avec ADS et HFSS

4.2. Process de fabrication de la bobine en salle blanche

La fabrication des bobines pour la recharge sans fil repose sur l'utilisation des techniques de la microélectronique disponibles en salle blanche du LAAS-CNRS. Pour ce faire, nous nous sommes principalement appuyés sur les techniques de photolithographie, d'électrodéposition, d'évaporation sous vide des métaux et de gravure chimique. Le procédé choisi est basé sur l'utilisation du polyimide, lequel se présente sous une forme de précurseur photosensible permettant la formation directe des vias ainsi que des ouvertures pour l'accès aux pads de connexions par photolithographie. Cette méthode permet de s'affranchir de tout besoin supplémentaire de gravure du polyimide, ce qui permet de réduire le temps et le coût de fabrication. Deux résines ont été sélectionnées, la première est la PI2611 [12], elle est non photosensible et jouera le rôle d'une couche sacrificielle séparant le wafer de silicium de la future bobine. La deuxième résine est la HD-4110 [13]. Cette résine négative est utilisée pour élaborer les différents cover layers ainsi que le substrat de départ la bobine. Le dépôt des différentes résines se fait par enduction (spin coating), c'est une technique qui consiste à déposer de la résine sur un wafer porté par un support en rotation (tournette) pour l'étaler par centrifugation. L'épaisseur de la couche déposée dépend de plusieurs paramètres comme la vitesse de rotation, l'accélération, la durée de l'opération, du recuit thermique ainsi que la viscosité initiale de la résine utilisée. Concernant les pistes de cuivre, celles-ci sont réalisées par une croissance électrolytique classique. Pour ce faire, les pistes sont localisées et dimensionnées au moyen d'une résine BPN préalablement photolithographiée (au format des pistes). On notera que cette étape est précédée d'un dépôt par évaporation d'une couche Titane/Cuivre (100/300 nm) pour former une couche d'accroche (Seed layer) nécessaire à l'électrodéposition. Les différentes étapes technologiques de ce process sont résumées dans la figure 12.

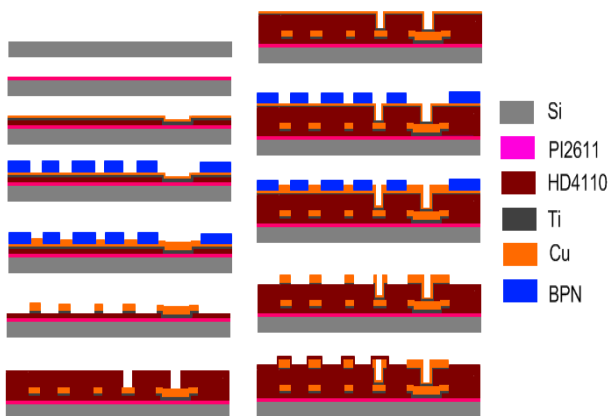


Figure 12. Étapes technologiques de la fabrication des bobines imprimées

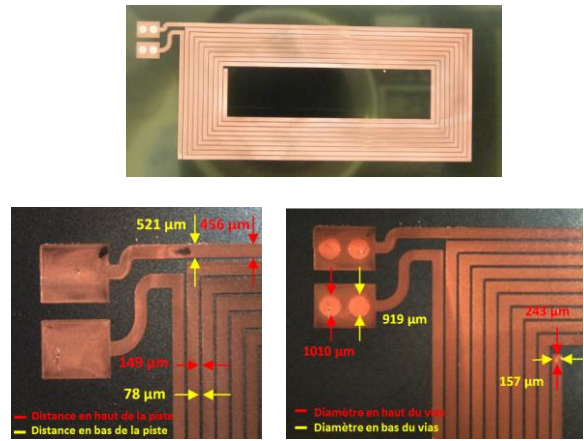


Figure 13. Prototype de la bobine imprimée

La figure 13 présente un prototype des bobines réalisées. Une phase de caractérisation a permis de valider les performances fonctionnelles de ces dernières. Pour ce faire, nous avons utilisé un analyseur d'impédance (Agilent 4294A) pour mesurer les inductances, les résistances ainsi que les facteurs de qualité dans l'intervalle de fréquences des simulations. On constate sur la figure 14 que les bobines présentent une fréquence de résonance située aux alentours de 3.8 MHz qui est décalée par rapport aux résultats de simulation (ADS : 5.3 MHz et HFSS : 4.9 MHz).

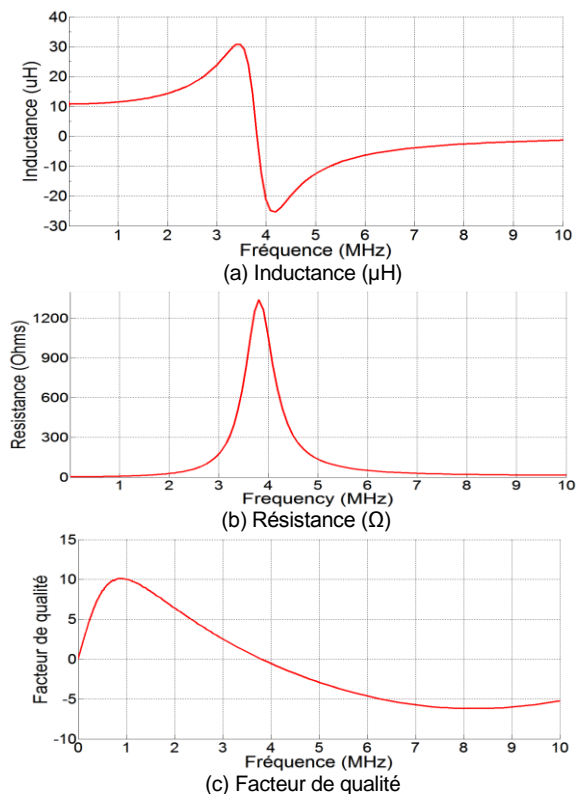


Figure 14. Performances des bobines réalisées

Pour affiner notre modèle, des retro simulations permettraient l'obtention des résultats plus proches en termes de fréquence de résonance. Cette démarche est en cours d'étude. Cependant, la fréquence actuellement obtenue reste éloignée de la plage de fonctionnement des chargeurs Qi (110-205 KHz) sur laquelle ces bobines sont

caractérisées par une inductance de $10.8 \mu\text{H}$, une résistance d'environ 3Ω et un facteur de qualité de 3.39 @ 150 KHz. Ces valeurs sont cohérentes au regard des résultats obtenus par simulation.

4.3. Test de la recharge sans fil

Après la validation des performances électriques des bobines imprimées, le système de recharge sans fil a été ensuite intégré dans le patch SACHA tel que déjà présenté dans la figure 9. Plusieurs stations de bases compatibles avec le standard Qi ont été utilisées pour valider l'interopérabilité du chargeur (figure 15).

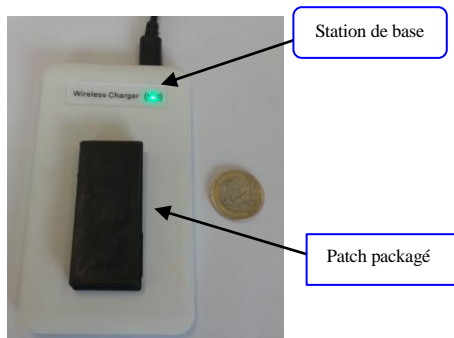


Figure 15. Recharge sans fil du patch SACHA

Un exemple de courant de charge de 10 mA est présenté sur la figure 16. Pour le tracking patch, ce courant a été fixé à 7.5 mA de sorte à minimiser l'échauffement thermique de la batterie et pérenniser la durée de vie (nombre de cycle de charge). Dans ce mode de configuration, la durée de recharge est située entre 4 à 5 heures avec une distance de couplage maximale mesurée entre le patch et la station de base de 4.8 mm, ce qui est très suffisant pour notre application.

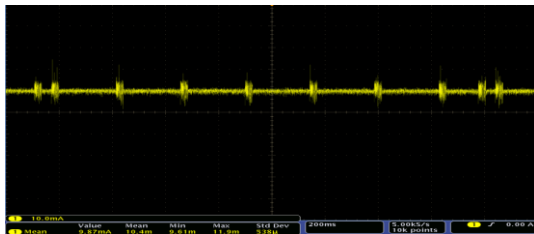


Figure 16. Courant de charge

5. Conclusion et perspectives

Cet article décrit le développement d'un patch électronique destiné aux personnes dépendantes et/ou souffrant de troubles cognitifs en assurant deux fonctionnalités primordiales, à savoir la détection de chutes et le tracking en cas de fugues. Notre étude s'est focalisée sur l'étude, le design et la miniaturisation d'antennes dans la bande ISM et GPS. Ceci en s'appuyant sur des outils de simulation numériques avec comme objectif le meilleur compromis en terme d'intégration/performance. Ces antennes ont été testées et validées en situation d'utilisation réelle. Parce que les aspects énergétiques sont un point important du projet, la volonté d'intégrer un système de transfert d'énergie sans fil confère au dispositif une qualité supplémentaire d'étanchéité. Ce choix s'est rapidement confronté aux

grandes tailles des bobines commercialisées qui se sont avérées incompatibles pour notre application. Ceci explique pourquoi, nous avons également étudié et développé des bobines imprimées spécifiques sur un substrat de type polyimide. Après une phase de design et simulation, cette étude a permis la réalisation matérielle de bobines planaire ultra minces et fonctionnelles entièrement fabriquées dans la salle blanche du LAAS-CNRS. Actuellement les travaux se poursuivent avec l'ambition de réaliser une version totalement souple du patch.

Remerciement

Ce travail a été développé dans le cadre du programme de recherche SACHA ; financé par le gouvernement français (FUI) et la Région de Midi Pyrénées. Les partenaires industriels du projet que nous remercions sont Sigfox, Telecom Design, Axible technologies, e-santé et le centre hospitalier CHIVA de Foix.

Références

- [1] "World population prospects, the 2015 Revision", http://esa.un.org/unpd/wpp/unpp/anal_indicators.htm
- [2] M. Chan, D. Estève, C. Escriba and E. Campo, "A review of smart homes—Present state and future challenges", *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 91 (2008) pp 55-81.
- [3] N. Noury, G. Virone, P. Barralon, J. Ye, V. Rialle and J. Demongeot, "New trends in health smart homes," in 5th International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry (6-7 June 2003) pp.118-127
- [4] "Vivago", <http://www.telealarme-vivago.fr/>
- [5] R.G. Haahr, S.B. Duun, M.H. Toft, B. Belhage, J. Larsen, K. Birkelund and E.V. Thomsen, "An Electronic Patch for Wearable Health Monitoring by Reflectance Pulse Oximetry," *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems* 6 (2012) pp.45-53.
- [6] H. Hafezi, T.L. Robertson, G.D. Moon, K.-Y. Au-Yeung, M.J. Zdeblick and G.M. Savage, "An Ingestible Sensor for Measuring Medication Adherence," in *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 62 (2015) pp.99-109.
- [7] M. Chan, D. Estève, and E. Campo, "Elderly daily activity habits or lifestyle in their natural environments," presented at the Proceedings of the 4th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, Heraklion (2011) Crete, Greece.
- [8] Y. Charlon "Conception de dispositifs électroniques portés pour le suivi de l'état de santé des personnes âgées". *Micro et nanotechnologies/Microélectronique*. Université de Toulouse III (2014)
- [9] "ADS", <http://www.keysight.com/en/pc-1297113/advanced-design-system-ads?cc=FR&lc=fr>
- [10] "HFSS", <http://www.ansys.com/Products/Electronics/AN-SYS-HFSS>
- [11] Wireless Power Consortium", <http://www.wirelesspowerconsortium.com/>
- [12] "PI-2600 Series-Low Stress Applications", http://hdmicrosystems.com/HDMicroSystems/en_US/pdf/PI-2600_ProcessGuide.pdf
- [13] "HD-4100 Series", http://hdmicrosystems.com/HDMicroSystems/en_US/pdf/HD-4100