

Réseau de capteurs sans fil distribués pour le monitoring des activités de vie au sein d'une maison intelligente

Adrien van den Bossche¹, Eric Campo², Nadine Vigouroux³, Frédéric Vella³

(1) CNRS, IRIT, Univ. Toulouse II
IUT de Blagnac
1 place G. Brassens BP 60073
F-31703 Blagnac CEDEX, France
+33 562747114
vandenbo@univ-tlse2.fr

(2) CNRS, LAAS, 7 avenue du Colonel
Roche, F-31400 Toulouse, France
Univ de Toulouse, UTM, LAAS, F-
31100 Toulouse, France
+33 561337961
eric.campo@univ-tlse2.fr

(3) CNRS, IRIT, Université Paul
Sabatier
118, Route de Narbonne
F-31062 Toulouse CEDEX 9, France
+33 561556314
{vigourou, vella}@irit.fr

RESUME

Ce projet consiste à développer des modules capteurs/actionneurs communicants sans fil autonomes en énergie avec la fonction de mesurer des paramètres d'activités au sein d'un domicile et d'assurer au moyen d'un contrôleur de dialogue une interaction intuitive et adaptée pour le pilotage des équipements. Le réseau de capteurs est basé sur des modules génériques WiNo conçu de façon à pouvoir s'interfacer avec les équipements d'un habitat. L'interaction avec l'utilisateur s'effectue via une tablette tactile. L'article présente les éléments du système et les premières implémentations au sein d'une maison intelligente.

Keywords

Capteurs, réseaux sans fil, interaction utilisateur, reconnaissance d'activité, habitat intelligent.

1. INTRODUCTION

L'habitat du futur est une préoccupation actuelle qui a plusieurs objectifs dont celui de la sécurité des biens et des personnes. Le maintien à domicile des personnes âgées est un enjeu majeur de notre société compte tenu du vieillissement de la population. Plus de 90% des personnes âgées de plus de 60 ans vivent à domicile (65% pour les plus de 90 ans) et désire vieillir chez elles en logement autonome [1]. Ceci n'est pas sans conséquence pour les personnes âgées fragiles vivant seules. Un aménagement adapté est souvent nécessaire. Cet aménagement peut prendre la forme d'une amélioration de l'accessibilité de l'habitat, d'une meilleure sécurisation des lieux ou d'une meilleure assistance et aide à l'autonomie [2]. Les technologies domotiques sont largement disponibles aujourd'hui, mais elles ne sont pas toujours facilement utilisables par les personnes âgées ; améliorer leur accessibilité, par exemple par le contrôle de certains équipements à travers des techniques d'interaction tactile [3] ou vocale [4], permettent à l'utilisateur un contrôle des installations et un meilleur bien être [5]. Dans cet objectif, il est possible d'équiper l'environnement de capteurs connectés en réseau, pour acquérir une meilleure connaissance des activités de la personne mais également pour donner à l'utilisateur la possibilité de piloter son habitat via des commandes tactiles à travers une tablette ou un smartphone. Cette connaissance peut aussi permettre la détection de comportements anormaux pour déclencher des alertes et prévenir le ou les aidants, mais aussi de proposer une interaction à l'utilisateur selon le contexte actimétrique et ambiant remonté par le réseau de capteurs.

Après un rappel de la problématique générale, nous présentons la conception des modules capteurs sans fil, leur déploiement dans un *living lab* et les premiers résultats obtenus. Nous décrivons ensuite l'architecture matérielle et logicielle attendue pour la connexion du réseau de capteurs sans fil au dispositif d'interaction, avant de conclure et d'évoquer les perspectives des travaux.

2. PROBLEMATIQUE

Le suivi des activités de vie des personnes âgées fragiles à domicile est un enjeu de société qui s'explique d'une part par le besoin d'une sécurité accrue pour les personnes vivant seules et un renforcement ou une aide à l'autonomie, et d'autre part par le besoin de maîtrise des coûts liés à la santé en retardant l'entrée en institution voire l'hospitalisation. L'habitat doit pouvoir permettre d'offrir des outils qui assurent ce confort et bien être en offrant à l'utilisateur la possibilité de contrôler son environnement de manière permanente mais également d'alerter en cas de danger et de prévenir les risques de survenue d'une perte d'autonomie ou de dépendance [6]. Pour cela, il convient de proposer des solutions qui permettent le suivi ou le dépistage de situations à risques ou de danger (malaise, chute, troubles de l'équilibre et de la marche, dénutrition, mauvaise observance thérapeutique, perte d'audition ou de vision...) [7]. Certains de ces facteurs peuvent avoir une incidence considérable avec des conséquences potentiellement lourdes sur la qualité de vie. Il est donc nécessaire de mettre en place des solutions à faible coût, flexibles, ouvertes, d'installation aisée pour collecter des données pertinentes représentatives de l'activité de vie de l'occupant dans son environnement de vie. La solution que nous proposons est basée sur la mise en place, d'un ensemble de modules capteurs communicants sans fil basse consommation configurables et facilement interfaçables avec des équipements domotiques, et d'un système d'interaction tactile reposant sur une interface utilisateur simple et intuitive.

3. DESCRIPTION DE LA SOLUTION

La solution technique est constituée d'un réseau de modules génériques, intégrant des capteurs ou actionneurs sans fil, basés sur une architecture matérielle et logicielle *Arduino*. *Arduino* est une plateforme de prototypage électronique open-source simple d'utilisation. Pour faciliter le développement et le prototypage rapide des aspects réseaux, le système OpenWiNo [8] est utilisé.

3.1 Réseau de capteurs distribués

Les réseaux sans fil sont très populaires aujourd'hui, qu'ils soient librement déployés (Wifi, Bluetooth) ou liés à l'infrastructure

d'un opérateur (3G, 4G). Ces technologies sont très répandues, et sont utilisées dans des contextes très variés ; que l'on évoque le M2M (*Machine to Machine*) ou l'Internet des Objets, il est désormais courant, pour un système autonome, d'utiliser les réseaux pour s'échanger des informations automatiquement, sans aucune intervention de l'être humain. Dès lors, des problématiques telles que l'auto-configuration, l'autonomie énergétique, la fiabilité et la sécurité des échanges, se doivent d'être efficacement traitées. Notre application s'inscrit dans ce cadre : afin de pouvoir remonter des informations issues de capteurs permettant le suivi des activités de vie d'une personne à son domicile, il est nécessaire de disposer d'une technologie de communication réseau la plus transparente possible : sans fil, sans configuration, sans contraintes de déploiement liées à l'énergie ou la propagation radio, et suffisamment fiable et robuste pour garantir la transmission de messages. De plus, le matériel et le logiciel doivent être disponibles pour être déployés en *living lab*.

Pour permettre le développement et le prototypage rapide des protocoles pour les réseaux sans fil et sans infrastructure, nous avons utilisé l'outil OpenWiNo [8]. OpenWiNo est une architecture matérielle et logicielle permettant l'élaboration rapide (conception et validation de protocoles, émulation, déploiement en environnement réel et tests) de protocoles pour les réseaux de capteurs sans fil et l'Internet des Objets. OpenWiNo est un composé de trois éléments principaux :

- Un noyau (*kernel*), fournissant l'empilement protocolaire et les outils réseaux de base (gestion des files d'attente, encapsulation, horloge), le nœud étant généralement dépourvu de système d'exploitation,
- Un environnement d'émulation, permettant de tester les protocoles conçus dans un environnement robuste et maîtrisé,
- Un environnement de déploiement réel, où le noyau sera exécuté sur des cibles réelles à bas coût¹.

D'un point de vue matériel, OpenWiNo a été porté sur l'architecture matérielle et logicielle ouverte *Arduino*, ce qui le rend très facilement interfaçable avec des capteurs réels, comme cela sera décrit plus loin. Le module *Arduino* utilisé est un Teensy 3.1 [14]. Bien que non conventionnel dans le monde *Arduino*, le T3.1 comporte de nombreux avantages, notamment d'être basé sur un processeur ARM Cortex M4. Il dispose aussi d'un design permettant une totale mise en veille, à la différence de la plupart des *Arduinos*. Il présente un rapport *capacité de traitement sur énergie consommée* très favorable, ce qui permettra dans le futur d'intégrer des piles protocolaires plus consommatrices en ressources telles que 6LoWPAN. Même à l'état de prototype (Figure 1), les dimensions d'un nœud WiNo sont très réduites, ce qui permet son intégration simple dans des systèmes opérationnels, voire même le déploiement de plusieurs WiNo dans un environnement à observer, comme cela est prévu ici, en *living lab*. Enfin, le système OpenWiNo permet l'administration complète du réseau déployé à distance, grâce un *remote shell* intégré (suivi de déploiement, débogage, reprogrammation du micrologiciel). Nous avons également développé une interface web, Webino, pour permettre une gestion simple des nœuds en expérimentation. Cette possibilité est très appréciable dans notre contexte d'expérimentation.

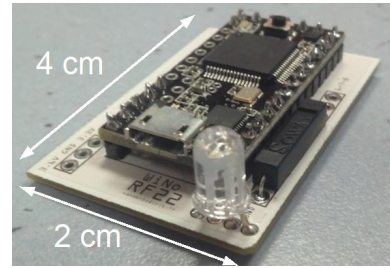


Figure 1 : Un nœud WiNo prototype

Afin de permettre un déploiement simple, robuste et sans contrainte, un protocole d'accès au médium radio (MAC, *Medium Access Control*) sans hiérarchie basé sur une synchronisation consensuelle et répartie (SiSP [9]) a été mis en œuvre. Ce protocole permet une synchronisation des activités et une mise en veille de tous les nœuds du réseau. Cette possibilité de mise en veille, pour tous les nœuds, permet de conférer à chaque nœud une grande autonomie énergétique (mesurée à plusieurs semaines, en fonction du trafic généré par le capteur), simplifiant ainsi leur déploiement : les nœuds peuvent être librement placés dans l'environnement et très proche du phénomène physique à observer. Pour compléter la flexibilité du déploiement, le protocole de routage réactif AODV a également été déployé sur les nœuds ; un module capteur peut dès lors, être producteur d'information, mais aussi relais pour les autres nœuds du réseau. Cet aspect est fondamental, car si l'on est obligé de déployer un capteur près du sol (par exemple, sous un tapis), les contraintes de propagation sont telles que l'antenne aura un rayonnement très limité et la communication ne portera que sur quelques mètres. Il est alors attendu que les nœuds les plus proches agissent comme un relais de l'information. Cette approche multi-saut permet de gagner encore en flexibilité de déploiement.

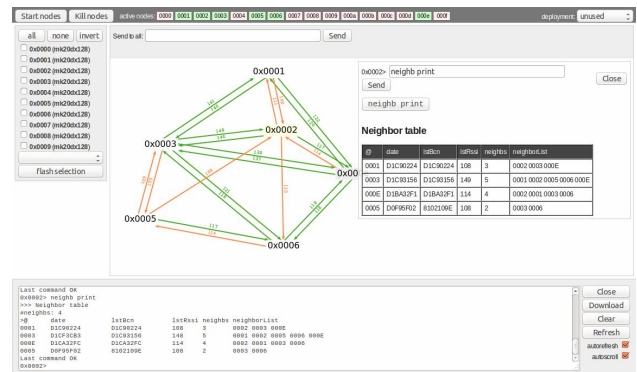


Figure 2 : Topologie du réseau de capteurs sans fil, au travers de son interface de gestion

La figure 2 représente une capture d'écran de l'interface Webino, représentant notamment la topologie dynamique, maillée, du réseau de capteurs sans fil. Les liens radio sont colorés en fonction de leur qualité ; en production, le réseau peut ainsi être évalué en quelques secondes au moment du déploiement, puis, en phase de maintenance, être reconfiguré ou reprogrammé, à distance.

3.2 Présentation des capteurs retenus

Plusieurs capteurs ont été connectés à un ou plusieurs WiNo, puis déployés dans la Maison Intelligente de l'IUT de Blagnac (MIB)[10]. Parmi ces capteurs, on citera notamment :

¹ Le coût d'un WiNo est de quelques dizaines d'euros, en fonction du nombre et de la nature des capteurs qu'il intègre.

- Un capteur de température,
- Un capteur indiquant le niveau de décharge de la batterie,
- Des capteurs de luminosité (Figure 3),
- Des capteurs de force, choc et vibration (Figure 4),
- Des capteurs de présence ou de mouvement (Figure 5),
- Des capteurs d'ouverture de porte (Figure 6).



Figure 3 : Capteur de luminosité (photo-résistance)



Figure 4 : Capteurs de force (FSR), de choc et de vibration



Figure 5 : Capteurs infrarouges de présence et de mouvement



Figure 6 : Capteur d'ouverture de porte (reed)

L'architecture Arduino possède de nombreuses entrées/sorties. Le Teensy 3.1 utilisé compte, dans la limite des combinaisons possibles, jusqu'à :

- 30 entrées ou sorties tout-ou-rien,
- 20 entrées analogiques d'une résolution de 16 bits,
- 10 sorties PWM (*Pulse Width Modulation*),
- 1 sortie numérique (DAC, *Digital-to-Analog Converter*) 12 bits
- Plusieurs interfaces : USB OTG, SPI, I2C, CANbus.

Cette diversité d'entrées/sorties, couplée aux nombreuses bibliothèques mises à disposition par la communauté *Arduino*, permet la connexion d'une large gamme de capteurs sur chaque nœud du réseau, permettant ainsi d'accéder à une meilleure connaissance de l'environnement. Enfin, les options matérielles offertes par l'*Arduino* sont nombreuses et débrayables logicielle, ce qui permet d'intégrer le conditionneur du capteur de façon logicielle, notamment pour le filtrage ou les détections de minimum/maximum.

3.3 Implémentation des modules

Chaque capteur a été intégré à un nœud WiNo et forment ainsi un *module*. Les modules ont ensuite été déployés dans l'appartement à des endroits stratégiques : lieux de passages, zones de vie, porte de meubles, etc. (figure 7).

Chaque module capteur est destiné à remonter une information qui doit permettre de décrire un événement ou par agrégation de plusieurs données d'analyser la situation afin d'en déduire une activité.



Figure 7 : Configuration de la Maison Intelligente

Le tableau 1 détaille la localisation des capteurs et sa contribution dans la fonction visée.

Table 1. Positionnement des capteurs dans l'habitat et fonction

Capteurs	Localisation	Fonction cible
Luminosité	Toilettes, Chambre	Sécurité Confort
Force	Lit, fauteuil	Présence
Choc	Sol chambre et toilettes	Chute
Vibration	Salon	Présence Chute
Proximité infrarouge	Entrée chambre et entrée cuisine	Comptage des entrées/sorties
Mouvement	Chambre, Salon, Cuisine, toilettes, Salle de bain, entrée	Activité motrice Trajectoires Localisation
Contacts magnétiques	Fenêtres salon, cuisine, chambre, réfrigérateur, placard cuisine	Sécurité Nutrition

4. RESULTATS PRELIMINAIRES

Dans un premier temps, le dispositif a été connecté à Cacti [15], un logiciel web permettant de représenter en temps réel sous forme de graphes, les données issues de capteurs. Les nœuds capteurs transmettent régulièrement leurs informations au serveur Cacti, via un module WiNo dédié connecté à l'Internet. Ce serveur gère lui-même sa propre base de données au format RRD (RRDtool). Son moteur de génération graphique est très complet et permet de produire assez simplement des affichages de bonne qualité, avec des zooms possibles sur différentes plages temporelles, et intégrant des fonctions variées (moyennes, détection de seuils, etc.). La Figure 8 illustre pour exemple l'évolution de la luminosité de l'une des pièces de la Maison

Intelligente (salon) sur 4 jours et sur 24h. On notera une rupture du service le vendredi matin, lors d'une maintenance sur le serveur de collecte.

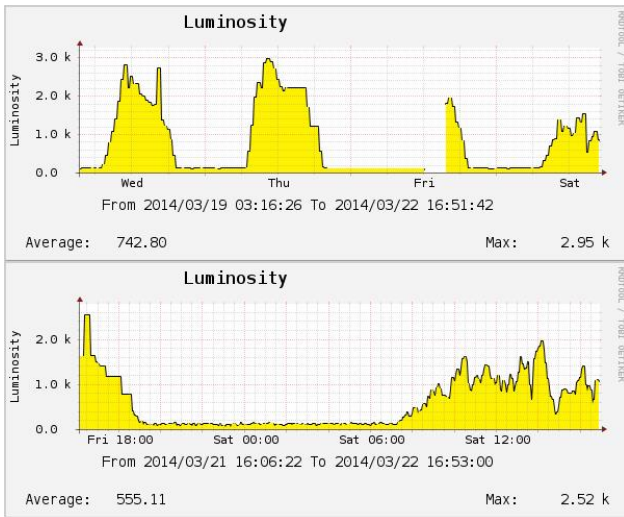


Figure 8 : Représentation de l'évolution de la luminosité d'une pièce en intérieur sur plusieurs périodes de temps

Dans le cas de la Figure 9, un module WiNo a été mis sous tension, transporté puis placé à l'intérieur du réfrigérateur de la Maison Intelligente, permettant d'alerter l'habitant si ce dernier ne conserve pas les aliments à une température adaptée. Un autre nœud a été placé sur la porte du réfrigérateur et sur la porte du placard de la cuisine permettant de détecter les ouvertures et fermetures. Ces informations pouvant à la fois servir à informer et à alerter l'utilisateur sur la position des portes (ouvertes ou fermées) mais également permettre de connaître son comportement aux heures des repas (activité nutritionnelle).

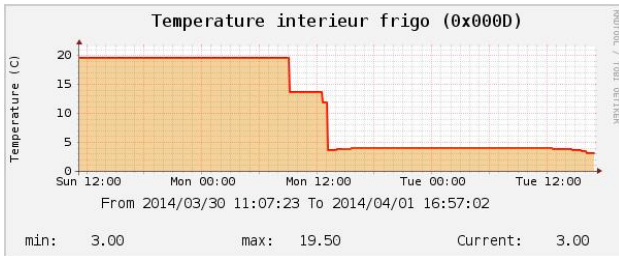


Figure 9 : Evolution de la température dans un réfrigérateur

La Figure 10 représente l'évolution de la tension de la batterie alimentant le WiNo avant décharge complète (2 jours, 6 dernières heures). Un suivi de cette grandeur permet de prévenir l'utilisateur de l'imminence de l'arrêt d'un module si sa batterie n'est pas rechargée. Notons que le WiNo observé ici n'a pas de stratégie de veille activée, accélérant ainsi la décharge de la batterie. Il est intéressant de noter que ces stratégies sont fondamentales pour parvenir à des autonomies énergétiques de plusieurs semaines ou plusieurs mois **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

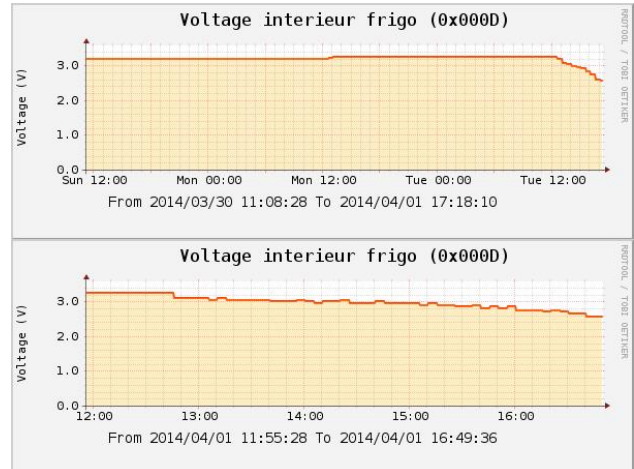


Figure 10 : Observation de la décharge de la batterie d'un module WiNo (2 jours, 6 dernières heures)

Dans un second temps, un dispositif permettant de dupliquer les données issues du réseau de capteurs, a été mis en place. Ce dispositif stocke les données à plat, dans un fichier de log (une ligne = une donnée issue d'un capteur), permettant la mise à disposition des données du traitement a posteriori. Dans le cadre applicatif du suivi de l'activité de personnes et de l'état ambiant de l'environnement, ces données sont traitées par des algorithmes reposant sur des méthodes de classification pour la reconnaissance des activités et sur les systèmes experts pour la détection de comportements anormaux et la levée d'alertes.

5. CONNEXION AUX DISPOSITIFS D'INTERACTION

L'objectif du réseau de capteurs sans fil est de collecter des informations sur l'environnement et les activités de la personne observée en vue de proposer des interactions homme-environnement ambiant les plus pertinentes possibles, compte tenu de la situation constatée. Si, par exemple, des capteurs installés autour du lit remontent des informations sur un possible lever de l'utilisateur, en fonction de l'heure, le contrôleur de dialogue pourra interagir de façon pertinente en fonction des réponses apportées par l'utilisateur mais aussi de ses propres actions. Cette interaction pourra être vocale en initiant un dialogue avec l'utilisateur au moyen de la synthèse vocale, l'utilisateur ayant lui la possibilité d'interagir par le biais d'une entrée orale ou d'une tablette tactile.

Le réseau de capteurs et les agents (synthèse vocale, commande vocale, contrôleur de dialogue, interpréteur de gestes d'interaction tactile, etc.) communiquent au moyen du bus logiciel Ivy [12]. Celui-ci a été développé pour permettre la communication entre agents logiciels dans le développement de systèmes interactifs. L'un des nœuds du réseau de capteurs sans fil est programmé comme destinataire final de tous les capteurs (*sink*) et est connecté, via son bus USB, à un PC qui implémente le bus Ivy. Chaque message collecté par le réseau de capteurs sans fil est alors transmis sur le bus Ivy, ce qui permet à l'agent contrôleur de dialogue de disposer en temps réel des informations issues des capteurs disposés dans l'environnement. La figure 11 illustre la topologie mise en œuvre dans la MIB. Sur cette topologie, les informations issues des capteurs sont remontées sur le réseau sans fil jusqu'à atteindre le nœud *sink*, connecté en USB au PC. Les

informations sont ensuite acheminées par le bus Ivy, porté par IP, sur les supports d'interaction tactiles (Smartphone et tablette).

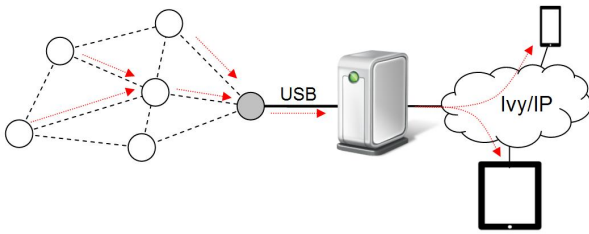


Figure 11 : Topologie d'interconnexion réseau de capteurs sans fil/Ivy

Dans un second temps, l'infrastructure domotique existante de la MIB, basée sur le bus KNX [13] [16], sera connectée à l'ensemble décrit figure 11, permettant d'une part la commande d'éléments (luminaires, volets, mobilier mobile) par les interfaces (tactile et vocale) mais aussi de permettre aux capteurs KNX (capteurs de mouvement infrarouges, interrupteurs muraux, etc.) de venir enrichir la connaissance de l'environnement.

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans ce papier, plusieurs modules capteurs ont été développés et connectés en réseau pour suivre les activités d'un usager dans son habitat. Ce réseau de capteurs sans fil a été développé dans un objectif de flexibilité maximale, afin de n'imposer aucune contrainte lors de son déploiement. Ceci impose que tous les nœuds puissent être routeur les uns pour les autres et que les nœuds, contraints énergétiquement, implémentent des stratégies de mise en veille synchronisée. L'ensemble a été prototypé et déployé dans la Maison Intelligente de l'IUT de Blagnac et est opérationnel. Dans un second temps, le bus Ivy a été retenu pour connecter le réseau de capteurs aux agents d'interaction. Une topologie a été proposée et le système est en cours de déploiement.

La prochaine étape de l'étude consistera à déployer l'architecture proposée au moyen d'un scénario « lever du lit » par des sujets volontaires; ce scénario est actuellement en cours d'implémentation et sera testé rapidement afin de valider les choix technologiques retenus (modules de capteurs, bus Ivy, agents Ivy d'entrée/sortie vocale). Ensuite, l'infrastructure domotique existante basée sur KNX sera connectée au prototype développé pour enrichir les possibilités offertes par le système, en particulier pour bénéficier des actionneurs déjà implémentés. Enfin, les nœuds du réseau de capteurs sans fil seront réinvestis pour permettre de commander des équipements domotiques sans passer par le bus KNX. Cette dernière possibilité permettra dans le futur d'équiper de manière légère, flexible et bas coût des habitations en domotique et en dispositifs d'aide et d'assistance pour le contrôle/commande des équipements, sans nécessairement déployer un bus domotique filaire, généralement très contraignant à installer.

7. REFERENCES

[1] Rapport de la mission "Vivre chez soi", Secrétaire d'état en charge des Aînés. Pr A. Franco. Juin 2010.

- [2] E. Campo, D. Estève and M. Chan, *Conception d'un habitat adapté pour l'aide à l'autonomie des personnes âgées*. Les Cahiers de l'Année Gériatrique, vol. 4, 2012, p. 356-363.
- [3] L. Findlater, J. E. Froehlich, K. Fatta, J. O., Wobbrock and T. Dastyar, *Age-related differences in performance with touchscreens compared to traditional mouse input*, CHI'13 (ACM), pp. 343–346, 2013.
- [4] M. Vacher, F. Portet, S. Rossato, F. Aman, C. Golanski, R. Dugheanu (2012) *Speech-based interaction in an AAL-context*, Gerontechnology; 11(2):310-316.
- [5] M.E. Bobillier Chaumon, R. Oprea Ciobanu. *Les nouvelles technologies au service des personnes âgées : entre promesses et interrogations – Une revue de questions*. Psychologie française, vol. 54, pp. 271–285. 2009.
- [6] A. Loones, E. David-Alberola, P. Jauneau. *La fragilité des personnes âgées : perceptions et mesures*. CREDOC, cahier de recherche 256, décembre 2008, 83 p. <http://www.credoc.fr/pdf/Rech/C256.pdf>.
- [7] A. Piau, E. Campo, P. Rumeau, B. Vellas, F. Nourhashemi. *Aging society and gerontechnology: a solution for an independent living?* The Journal of nutrition, health & aging, Vol. 18, N°1, pp. 97-112, Janvier 2014.
- [8] A. van den Bossche and T. Val, *WiNo : une plateforme d'émulation et de prototypage rapide pour l'ingénierie des protocoles en réseaux de capteurs sans fil*. Journées francophones Mobilité et Ubiquité (UbiMob 2013), Nancy, France, juin 2013.
- [9] Adrien van den Bossche, Thierry Val, Réjane Dalcé. *SISP: a lightweight Synchronization Protocol for Wireless Sensor Networks*. Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2011), Toulouse, 05/09/2011-09/09/2011, IEEE Computer Society - Conference Publishing Services, 2011.
- [10] E. Campo, X. Daran, L. Redon. *Une maison intelligente au carrefour des sciences technologiques et des sciences humaines*. 2ème Conférence internationale sur l'accessibilité et les systèmes de suppléance aux personnes en situation de handicap, Paris, France, p. 33-42. 2011.
- [11] Lu, G.; Krishnamachari, B.; Raghavendra, C.S., *Performance evaluation of the IEEE 802.15.4 MAC for low-rate low-power wireless networks*, Performance, Computing, and Communications, 2004 IEEE International Conference on, vol., no., pp.701,706, 2004
- [12] Buisson, M., Bustico, A., Chatty, S., Colon, F.-R., Jestin, Y., Maury, S., Martz, Ch., Truillet, Ph. *Ivy : Un bus logiciel au service du développement de prototypes de systèmes interactifs*, Interaction Homme-Machine (IHM 2002), Poitiers, 26-29/11/2002, ACM Press, p. 223-226, novembre 2002.
- [13] Bujdei, C.; Moraru, S. -A, *Ensuring Comfort in Office Buildings: Designing a KNX Monitoring and Control System*, Intelligent Environments (IE), 2011 7th International Conference on, vol., no., pp.222,229, 25-28 July 2011
- [14] PJRC Teensy 3.1 : <http://www.pjrc.com/store/teensy31.html>
- [15] Cacti : <http://www.cacti.net/>
- [16] The KNX Bus : <http://www.knx.org>