

# Silver@home

## Telemonitoring Séniors à Domicile

BAILLET Bruno - CHAUVIN Guillaume - MOUNTASSIR Brahim - NEVEU Quentin - SAGNA Marie-Antoinette

**Résumé**—Le projet Silver@home propose d'étudier et de mettre en oeuvre une plate-forme digitale recueillant les données d'un patient de type sénior pour les transmettre de façon sécurisée au personnel de santé. En effet, le patient se pèse et prend sa tension au moyen d'une balance et d'un tensiomètre connectés. Ces derniers transmettent leurs données par Bluetooth à un Raspberry ou à une box qui va adapter leurs formats et les envoyer aux serveurs d'AZNetwork. Une fois ces données récupérées, un traitement sera effectué et en fonction des résultats, des alertes pourront être envoyées au médecin traitant. Ainsi, les médecins pourront établir un diagnostic à distance et suivre l'évolution de santé du patient depuis l'hôpital. Si une alerte est déclenchée, le médecin sera automatiquement mis au courant et aura la possibilité de contacter le patient.

**Mots clés**—AZNetwork, Aide à la personne, Sénior, Silver@home, ISO 11073, plateforme-digitale, pesée, tension, traitement.

### I. INTRODUCTION

NOTRE projet s'intègre dans un F.U.I. (Fonds Unique Interministériel) de 6 entreprises :

- AZNetwork, l'entreprise porteur du projet est fondée en 1999, elle est spécialisée dans les produits informatiques
- Digital Airways développe et exploite des techniques et des outils permettant de créer des expériences utilisateurs évoluées sur des systèmes embarqués dans différents domaines.
- Inovelan conçoit et déploie des solutions innovantes pour le partage et les échanges sécurisés de données de santé.
- Greyc est un laboratoire de recherche dans le domaine des sciences et technologies de l'information et de la communication. (STIC)
- Suez travaille, entre autres, dans l'analyse contradictoire entre plusieurs capteurs.
- MDAP, Maison Domotique d'Application Pédagogique, est une maison équipée des dernières technologies domotiques. Il s'agit de notre lieu de tests.

L'ESIR, suite à notre projet, sera intégrée au sein de ces six entreprises pour le développement de Silver technologies (technologies liées aux personnes âgées). Il s'agit, en effet, d'un projet de télémédecine qui permettra de faciliter l'accès aux soins des patients de type "séniors en perte d'autonomie". Avec l'augmentation de l'espérance de vie et l'évolution démographique, les problématiques liées aux domaines de la santé deviennent centrales dans la plupart des pays occidentaux. Ce projet de telemonitoring a donc pour enjeu majeur de permettre un diagnostic à distance du patient. Notre équipe est constituée de cinq élèves ingénieurs pluridisciplinaires en

dernière année d'école d'ingénieurs à l'ESIR : Baillet Bruno élève ingénieur en Domotique, Chauvin Guillaume et Neveu Quentin élèves ingénieurs en ingénierie Biomédicale, Sagna Marie-Antoinette élève ingénieur en Télécommunications & Réseaux et enfin Mountassir Brahim élève ingénieur en Informatique. La figure suivante (cf figure 1) présente notre projet avec le patient, l'élément de mesure (balance), l'équipement de connexion ou passerelle (par exemple le Raspberry Pi ou une box), la base de données située chez AZnetwork, son réseau informatique et enfin le corps médical.

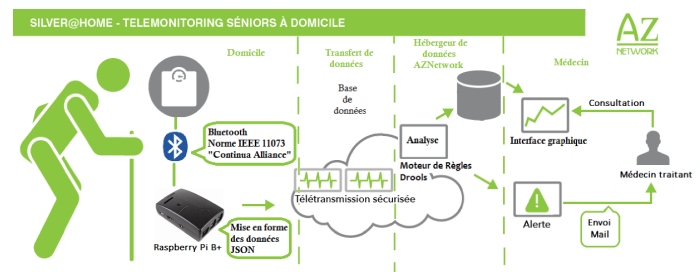


FIGURE 1. Schéma parcours données

Pour travailler sur ce projet, nous l'avons divisé en 4 modules ou systèmes :

- le système patient localisé à son domicile
- le système de transfert de données
- le système d'archivage et de traitement des données (correspondant au Datacenter et aux interfaces utilisateurs)
- le système soignant

L'alternative médicale d'un projet de télémédecine comme le nôtre présente de nombreux avantages pour tous les protagonistes concernés. En effet, en premier lieu l'avantage est d'apporter plus de confort au patient qui n'a plus besoin de séjourner à l'hôpital. Ensuite, le médecin en charge du patient reçoit un diagnostic en direct et à distance de l'évolution de santé du patient. Enfin, l'hôpital peut optimiser les coûts de nuitée parfois très onéreux pour les patients devant séjourner à l'hôpital. Il s'agit donc d'un gain financier pour les patients mais aussi pour la sécurité sociale qui pourrait ainsi diminuer son déficit financier. Par ailleurs, en collaboration avec des professionnels de la santé, un protocole clinique visant la gestion d'alertes a été élaboré.

### II. MÉTHODE, MATÉRIELS ET NORMES

Après une phase de familiarisation avec tous les enjeux liés à la plateforme, le projet a été divisé en 5 étapes (cf figure 2) :

1- Assimilation de la documentation fournie, ce qui nous a permis de comprendre les différentes parties du projet et le rôle que chacun doit avoir.

2- Mise en place d'un état de l'art des technologies existantes pouvant nous être utiles, mais aussi des différents appareils connectés existant sur le marché et correspondant à notre besoin. Comme cela, nous évitons de nous enfermer sur une seule marque et laissons notre projet ouvert en cas de changement de marque de produit (AND est actuellement la marque choisie, avec un changement possible pour TapCheck).

3- Mise en place de la phase d'acquisition des données à partir des appareils. Il s'agit d'établir la connexion entre ces devices et le raspberry. Cependant, il ne faut pas oublier que ce projet de télémédecine a pour finalité d'être utilisable par des professionnels de la santé. Ainsi, nous devons respecter différentes normes que ce soit pour le Bluetooth ou le transfert/stockage de données.

4- Transmission sécurisée des données. Le format de données à respecter est Json. De plus ces données doivent être cryptées.

5- Implémentation d'une interface intégrant des règles médicales à respecter. Réalisation d'un algorithme clinique en collaboration avec des professionnels de la santé. Gestion des alertes et des tendances représentatives de l'évolution de santé du patient.

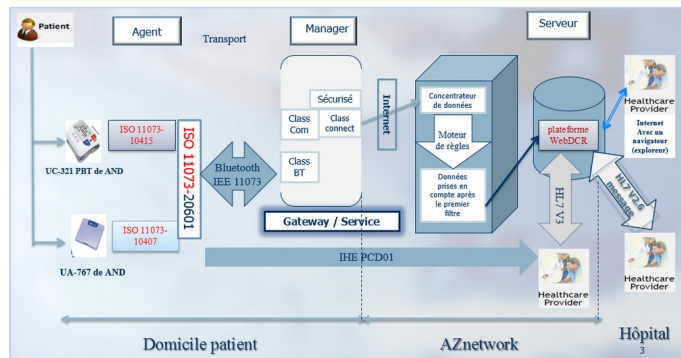


FIGURE 2. Schéma des différentes étapes

Concernant le matériel mis à notre disposition, l'entreprise Aznetwork nous a fourni deux capteurs que les patients ciblés utiliseront, ainsi qu'un raspberry pi modèle B+. Pour les capteurs, il s'agit d'un tensiomètre AC-767BT et d'une balance UC-355PBT-Ci produits par la société AND. Ils sont compatibles bluetooth et certifiés "Continua Alliance" répondant à la norme 11073-20601, Informatique de santé. Communication entre dispositifs de santé personnel. Ces appareils ont la particularité d'être simples d'utilisation. Les patients doivent simplement prendre leur tension, en appuyant sur le bouton "Start" et/ou se peser en montant sur la balance. Ainsi les mesures et l'acheminement des données seront entièrement automatisés. En effet, la balance et le tensiomètre

communiquent par l'intermédiaire du protocole Bluetooth et envoient les données à un Raspberry pi implanté chez le patient. Ensuite, ce raspberry enverra les données du patient de manière sécurisée à une base de données implantée chez l'Entreprise Aznetwork. Ainsi, le médecin en charge du patient pourra consulter à distance les données à partir d'une tablette, smartphone ou bien d'un ordinateur. En cas de problème chez le patient, une prise ou chute de poids, une tension trop ou pas assez élevée, différents seuils d'alertes sont mis en place et seront envoyés au docteur.

### A. Organisation du projet

Notre démarche, afin de mener à bien ce projet, était de s'appuyer sur la méthode SCRUM. La méthode SCRUM consiste en un suivi régulier des différentes parties du projet. Ainsi nous avons divisé le projet en différents modules, et nous établissions des dates pour finir chacun de ces modules. Une fois arrivée à ces dates butoirs, une vérification du fonctionnement est procédée. Si un module n'est pas fini à temps, une plus grosse part de travail lui sera consacrée afin qu'il soit le plus rapidement terminé et fonctionnel. A contrario, lorsque le module est opérationnel, nous pouvons passer au suivant. Par cette méthode, nous nous assurons que la base du projet soit réalisée afin de pouvoir fournir un résultat fonctionnel. De plus, comme nous étions un groupe nombreux et pluridisciplinaire, il était essentiel d'avoir un suivi des différentes briques et de pouvoir vérifier si ces parties s'imbriquaient correctement une fois terminées.

### B. Réception

Concernant les différentes technologies utilisées, nous avons opté pour les technologies ci-dessous car elles sont répandues. Le système devant être mis en place est un système d'aide à la personne dont le coût doit rester abordable. Tout d'abord, la connexion entre la balance/tensiomètre et le Raspberry se fait par l'intermédiaire du Bluetooth.

Le Raspberry Pi est un nano-ordinateur muni d'un processeur ARM ayant la taille d'une carte électronique dont il existe plusieurs variantes, modèles A, A+, B et B+. Leur architecture reste la même, par contre la différence joue sur le nombre de port USB et sur la quantité de RAM (Read Access Memory). Lors de ce projet, nous avons utilisé le modèle B+ (cf figure 3).

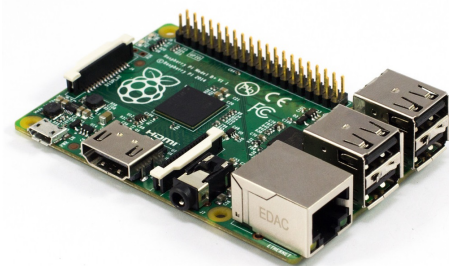


FIGURE 3. Raspberry modèle B+

Ce modèle est le dernier produit fabriqué par la Raspberry Pi Fondation. Il a l'avantage d'intégrer 4 ports USB et de posséder 512mo de RAM. Une fois le modèle choisi, nous avons décidé d'installer la distribution RaspBian. RaspBian est un système d'exploitation libre et gratuit basé sur la distribution Debian et optimisé pour fonctionner sur le Raspberry. N'ayant pas d'application disponible pour se connecter, nous avons dû créer une application permettant au Raspberry de recevoir les données envoyées par la balance. L'utilisation du Bluetooth dans un dispositif médical doit respecter différentes normes. Pour notre utilisation, nous devons nous appuyer sur le protocole IEEE 11073 Personal Health Standard et, plus précisément, sur la norme IEEE std 11073-20601, applicable pour le transfert de données de santé. Enfin dans le cas d'une balance, la norme 11073-20415 détaille les spécifications de celle-ci (cf figure 4).

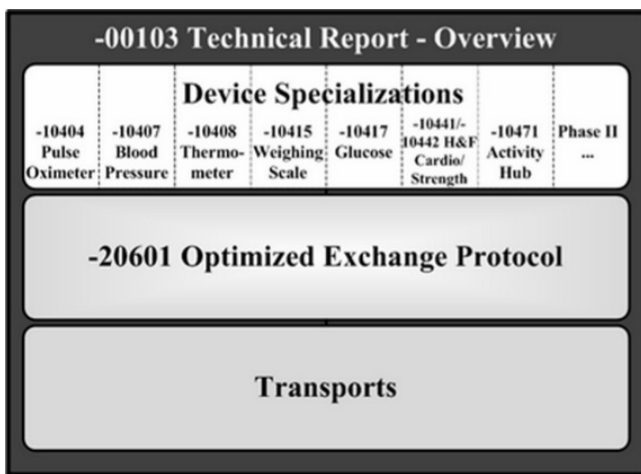


FIGURE 4. Description de l'architecture du système Bluetooth avec la norme ISO/IEEE 11073

### C. Transfert des données

Une fois les données reçues, nous arrivons sur le raspberry. Les données arrivant sur le raspberry doivent être envoyées de suite par Internet aux serveurs et bases de données d'AZNetwork. Si l'envoi de ces données patients ne peut s'effectuer, elles doivent être stockées temporairement dans le raspberry. Ainsi pour stocker ces données, une base de données HSQldb (HyperSQL Database Manager) a été développée sur le raspberry. HSQldb est écrite en Java. C'est une base de données embarquée qui fonctionne en mode client/serveur. Comme son nom l'indique, HSQL respecte les standards de requête SQL. Elle supporte aussi 95% des fonctions JDBC (Java DataBase Connectivity).

La figure suivante (cf figure 5) montre le contenu de la base HSQL nommée test-datababe installée dans le raspberry. Elle contient une seule table (DATAPATIENT) répertoriant les données du patient avec son identifiant (idpatient), son poids (weight), son poids de référence (weight-ref), sa tension (bloodPressure) et la date de mesure du poids et de la tension (dateMeasure).

idpatient	weight	weight_ref	bloodPressure	dateMeasure
1	65	70	13.4	08-jun-2013
2	75	70	10.4	05-jun-2014
3	65	90		14-05-jun-2011

FIGURE 5. Base de données HSQL DATAPATIENT

Ces données patient sont ensuite transformées en format JSON (Java Script Object Notation -Hypertext Transfer Protocol) grâce à une application développée nommée patient-simple.

C'est un format de données textuelles qui est un dérivé de la notation des objets du langage Javascript. On peut représenter de l'information structurée comme on peut le faire avec XML. Ainsi un fichier JSON permet de représenter de l'information accompagnée d'étiquettes ce qui va permettre d'en interpréter les divers éléments sans restriction sur leur nombre. Ensuite, les données patient sont envoyées aux serveurs d'AZNetwork en utilisant des sockets. En effet, les sockets servent à communiquer entre deux machines client/serveur à l'aide d'une adresse IP et d'un port. Les sockets gèrent ainsi des flux entrants et sortants afin d'assurer une communication entre le client et le serveur, soit de manière fiable à l'aide du protocole TCP/IP, soit non fiable mais plus rapide avec le protocole UDP.

L'application développée pour envoyer les données aux serveurs d'AZNetwork utilise des sockets avec TCP plus fiables. Cette application nommée client comporte ainsi la classe Client qui envoie les données patient aux serveurs d'AZNetwork après établissement de la connexion. Notre classe Client comportant les données sera présentée sous la forme suivante :

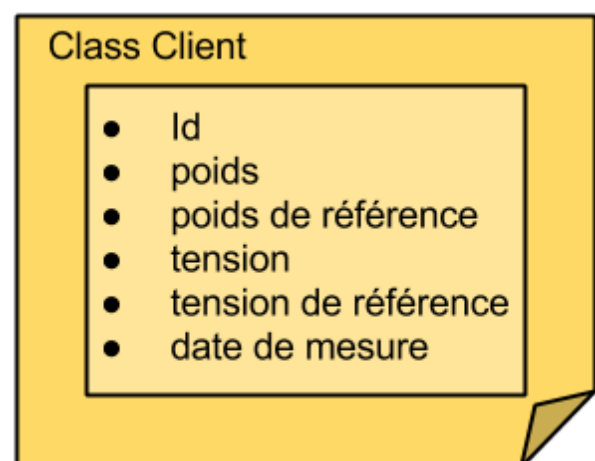


FIGURE 6. Contenu des données

Pour sécuriser ces échanges entre le client (Raspberry) et le serveur d'AZNetwork, un système d'authentification de

type Radius doit être mis en place et les données patient envoyées sur Internet doivent être cryptées. Ainsi, le fichier Json obtenu doit être crypté avant d'être transmis aux serveurs d'AZNetwork.

#### D. Analyse des données

Une fois les données reçues par le serveur, une vérification est appliquée. Cette vérification se fait grâce à un moteur de règles drools. Drools est un système Open Source capable de définir des règles et de les appliquer sur les données (cf figure 7).

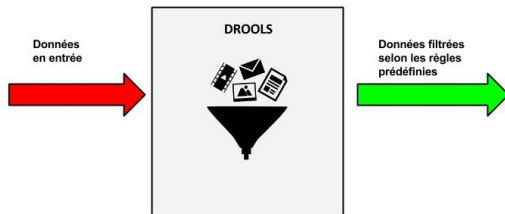


FIGURE 7. Fonction drools

Ainsi un protocole d'alerte pour le poids et la tension ont été mis en place. Ces protocoles s'appuient sur le projet SCAD (Suivi Clinique à Domicile). Il s'agit d'un projet de télémédecine visant à suivre les patients souffrant de problèmes liés à l'insuffisance cardiaque (cf figure 8).



FIGURE 8. Modèle SCAD

Dans notre cas, la gestion des alertes a été mise en place avec l'aide du Dr Haydar (Docteur au centre hospitalier d'Alençon). Chaque type d'alerte entraîne une réaction de l'IDE (Infirmière Diplômée d'Etat) spécialisée après avoir analysé le motif de l'alerte. Ces alarmes, pour le poids sont classées en trois catégories croissantes en termes de niveau de gravité : jaune, orange et rouge. On les retrouve dans le tableau suivant :

Types d'alarmes	Causes possibles (liste non exhaustive)	Réponse paramédicale
JAUNE	Modifications de traitement, mauvaise connaissance de son traitement, prise de poids de 1 kg.	Message d'encouragement ou Eventuel Rappel du patient d'avertissement adressé au patient. Rappel de règles hygiéno-diététiques. Eventuel Rappel du patient.

ORANGE	Prise de poids supérieure de 2kg	Appel du patient. Consultation conseillée dans les 24h
ROUGE	Prise de poids supérieure de 4kg	Appel du médecin au patient. Éventuelle consultation suite à l'appel téléphonique.

TABLE I

TYPE D'ALARME ET RÉACTIONS PARAMÉDICALES ATTENDUES.

Pour le tensiomètre, la gestion des alertes est un peu différente car dans notre système corporel nous avons plusieurs pressions artérielles. Une définition purement physique montrerait que la pression artérielle est égale au produit du volume de sang éjecté à chaque contraction du cœur (débit cardiaque) par la résistance des artères périphériques qui s'oppose à l'écoulement du sang dans les artères. Ainsi à chaque pression existe un dépendance :

- La pression artérielle systolique dépend du débit d'éjection du ventricule gauche, c'est-à-dire du volume de sang issu du cœur. Si le débit cardiaque augmente, la pression systolique augmente.
- La pression artérielle diastolique est fonction des résistances sur les artérioles périphériques qui représentent les résistances à l'écoulement sanguin dans les petites artères. Il s'agit d'un paramètre important car cette pression reflète la manière dont les artères du cœur, artères coronaires, sont irriguées.

Ces seuils d'alerte pour la tension sont classés en deux catégories croissantes en termes de niveau de gravité : orange et rouge. Elles sont à comparer aux valeurs de Pression systolique et Pression diastolique que le médecin déterminera lors d'une pré-consultation avec le patient.

#### E. Sauvegarde des données

Enfin, une base de données a dû être mise en place sur les serveurs d'AZNetwork pour que ces différentes pesées et tensions soient enregistrées ainsi que les différentes type d'alertes. Les médecins traitants pourront les consulter quand ils veulent et sur une durée choisie. Pour cela, un tableau du suivi du poids et/ou de la tension a dû être mis en place (cf figure 9).

### Patient Data

Id	Weight	Weight reference	Tension	Date of mesure	Alert
0211	80	79	6	04/02/2015	YELLOW ALERT
0709	80	82	6	19/12/2015	
0711	85	79	8	10/02/2015	RED ALERT
1	80	78	5	02/03/2015	ORANGE ALERT

FIGURE 9. Tableau suivi poids



### III. RÉSULTATS

Une fois, les connexions faites entre les différentes parties, il s'agissait d'assembler toutes les briques des membres du groupe et de s'assurer du bon fonctionnement. L'extraction et l'envoi des données par Bluetooth au Raspberry se fait via un protocole fiable et sécurisé. Ce protocole respecte les normes Bluetooth certifié "Continua Alliance" répondant à la norme 11073-20601, Informatique de santé. Actuellement, nous n'avons pas réussi à maîtriser ces protocoles, et la communication entre la balance et le raspberry ne se fait pas. Nous avons dû simuler une réception de données entre un téléphone (qui représente la balance) et le raspberry pour effectuer nos tests. Une fois les données reçues par le Raspberry, nous les avons adaptées puis sécurisées. Après cela, nous envoyons les données sur les serveurs de AZNetwork par l'intermédiaire de socket, une analyse est effectuée, et les données sont stockées sur les serveurs. Lors de l'analyse, une première vérification est faite afin de vérifier la concordance des données reçues et pour éventuellement ne pas les prendre en compte, si c'est une personne autre que le patient qui s'est pesée. Ensuite, si les données sont bonnes, différents niveaux d'alertes sont prévus en cas de problèmes repérés chez le patient. En fonction du niveau d'alerte, le médecin peut être averti et aura un accès au dossier du patient pour voir plus en détail ce qui ne va pas.

Afin de valider ces différentes étapes, une série de tests a été effectuée. Nous avons dans un premier temps vérifié la communication entre le raspberry et un serveur par l'envoi de socket, communication qui s'est avérée positive. Ensuite, nous avons envoyé plusieurs mesures de poids pour un même patient afin de vérifier l'envoi de mails automatiques sur la boîte mail du médecin traitant.

Cependant, nous avons dû faire face à un problème lié au matériel. En effet, le tensiomètre qui nous a été livré par l'entreprise ne possédait pas de compatibilité Bluetooth. Par conséquent, il était impossible de se connecter à ce tensiomètre et d'en extraire les données. Le protocole médical associé à ce capteur de tension ayant été validé par le médecin en collaboration avec notre projet, il pourra néanmoins être utilisé par une équipe qui souhaiterait reprendre ce projet avec le capteur de tension adapté. Etant donné que nous n'avons pas récupéré un nouveau tensiomètre compatible Bluetooth, nous avons décidé de nous attarder uniquement sur le capteur lié au poids du patient tout en développant une partie du projet ayant pour but d'intégrer un tensiomètre.

### IV. CONCLUSION

Nous avons dû nous heurter à des difficultés pour récupérer et extraire les données envoyées par la balance. Cette dernière étant propriétaire, nous n'avons pas réussi à trouver d'api pour nous aider et il n'existait, par ailleurs, qu'une seule application développée pour IOS et depuis mi-janvier 2015, une application Android a été développée.

Une des plus grosses difficultés à laquelle nous avons dû faire face est que notre projet s'inscrivait dans le cadre d'un F.U.I. avec comme entreprise principale AZNetwork. L'inconvénient majeur a été la communication. En effet, lorsque nous voulions entrer en contact avec des entreprises collaborantes, autres que AZNetwork qui est l'entreprise porteuse du projet, nous sommes restés sans réponse. Lors de l'amorce de notre projet, au cours d'un meeting réalisé au sein d'AZnetwork, il avait été évoqué que nous pourrions avoir accès à des Framework et un début d'application pour la communication Bluetooth destinée au Raspberry. Ces applications ayant déjà été développées dans le passé, elles nous auraient permis de gagner un temps précieux. Cependant, nous n'avons jamais pu y avoir accès et nous avons, par conséquent, dû prendre en main et nous approprier tout le matériel ce qui peut expliquer les différents défauts que l'on peut avoir dans notre projet. Malgré ces difficultés de communications qui nous ont permis de nous rendre compte de la complexité de mener à bien un projet multi-entreprise, nous avons néanmoins pu développer une plateforme complète qui gère des alertes et un suivi de poids des patients. Ce projet très enrichissant, pourra servir de base à l'aboutissement d'un produit plus élaboré pour la silver économie.

**Remerciements**—**Tout d'abord nous tenions à remercier l'entreprise AZNetwork et plus particulièrement Monsieur VARADY pour nous avoir proposé ce sujet. Ensuite, nous remercions Monsieur FINET, ingénieur biomédical au centre hospitalier d'Alençon qui nous a aidé lors de nos difficultés ainsi que monsieur HAYDAR docteur au centre hospitalier d'Alençon qui a permis de valider nos différents protocoles. Enfin nous remercions nos professeurs encadrants Madame Le BOUQUIN, Monsieur SIMON et Monsieur GUETTE pour leurs conseils et leurs aides durant ce projet.**

### RÉFÉRENCES

- [1] Christian Tavernier., "Raspberry pi prise en main et premières réalisations," in *Prise en main et premières réalisations*, june. 2013.
- [2] International Standard, "INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEEE11073-20601," *Informatique de santé — Communication entre dispositifs de santé personnels — Partie 20601*, pp. 140 –168, april 2010.
- [3] International Standard, "INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEEE11073-10415," *Informatique de santé — Communication entre dispositifs de santé personnels — Partie 20601*, pp. 15 –23, april 2010.