

UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi

**CONCEPTION MATÉRIELLE ET LOGICIELLE D'UN KIT DE CAPTEURS
FACILEMENT DÉPLOYABLE POUR ENRICHIR UN ENVIRONNEMENT EN LE
RENDANT CAPABLE D'INTELLIGENCE AMBIANTE**

PAR KÉVIN CHAPRON

**THÈSE PRÉSENTÉE À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI COMME
EXIGENCE PARTIELLE EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE
PHILOSOPHIÆ DOCTOR (PH.D.) EN INFORMATIQUE**

QUÉBEC, CANADA

© KÉVIN CHAPRON, 2021

RÉSUMÉ

Depuis plusieurs décennies, l'espérance de vie moyenne mondiale n'a jamais cessé d'augmenter. Le dernier rapport de l'ONU a notamment indiqué que la quantité de personnes âgées a considérablement augmenté. On peut, par exemple, observer que la proportion de personnes de 65 ans et plus est devenue plus grande que celle des enfants de moins de 5 ans. Cette tendance ne semblant pas prête à se freiner, il est nécessaire de trouver un moyen de s'occuper de ces aînés et des différents problèmes de santé y étant reliés. Comme ces individus désirent plus que tout rester dans leur domicile, il va alors falloir considérer la mise en place d'une aide à domicile, qui est soit onéreuse, soit exigeante pour la famille.

Le domaine de l'informatique a énormément progressé depuis les dernières années, notamment avec l'évolution de la microélectronique. En effet, les dispositifs sont de plus en plus performants, avec un prix, une taille et une consommation énergétique qui diminuent considérablement. Ces changements ont rendu possible la création de l'Intelligence Ambiante (IAm), dont une des applications principales est l'habitat intelligent. Celui-ci permet de surveiller les activités réalisées par l'habitant dans le but de l'aider. Pourtant, ce type d'installation est encore très peu utilisé, surtout à cause de son prix souvent élevé et des connaissances nécessaires à sa mise en place. Ce sont des défis auxquels plusieurs chercheurs ont décidé de répondre avec la création de kits de capteurs pour transformer un habitat commun en un habitat intelligent.

Cette thèse va apporter des réponses au problème de coût des habitats intelligents en proposant de nouveaux capteurs répondant à des problématiques précises dans un environnement. De plus, nous proposons aussi une structure logicielle capable de prendre en charge beaucoup de protocoles de communication différents afin d'amoindrir considérablement la problématique d'adaptabilité des habitats intelligents existants. Enfin, nous proposons une méthode pour gérer plusieurs résidents sous le même toit, pour mieux associer la personne qui exécute une activité dans l'habitat. Ces objectifs ont été atteints et ont permis de publier trois contributions majeures : « Highly accurate bathroom activity recognition using infrared proximity sensors », « Real-time gait speed evaluation at home in a multi-residents context » et « A new device to track and identify people in a multi-residents context ».

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|------|
| RÉSUMÉ | ii |
| LISTE DES TABLEAUX | ix |
| LISTE DES FIGURES | x |
| LISTE DES ABRÉVIATIONS | xiii |
| REMERCIEMENTS | xv |
| CHAPITRE I – INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 CONTEXTE DE LA RECHERCHE | 1 |
| 1.2 INTELLIGENCE AMBIANTE : INFRASTRUCTURE D’UN HABITAT INTELLIGENT | 3 |
| 1.3 LA RECONNAISSANCE D’ACTIVITÉS | 7 |
| 1.4 LA GESTION DU CONTEXTE MULTI-RÉSIDENTS | 11 |
| 1.5 PROBLÉMATIQUES INVESTIGUÉES DANS LA THÈSE | 16 |
| 1.6 MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE | 17 |
| 1.7 ORGANISATION DU DOCUMENT | 19 |
| CHAPITRE II – ARCHITECTURE D’UN ENVIRONNEMENT INTELLIGENT | 20 |
| 2.1 PROPRIÉTÉS RECHERCHÉES DANS UN CAPTEUR INTELLIGENT | 20 |
| 2.1.1 RAPPORT QUALITÉ/PRIX | 21 |
| 2.1.2 PERCEPTION RESSENTIE | 21 |
| 2.1.3 FONCTIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE | 22 |
| 2.1.4 INSTALLATION | 23 |
| 2.1.5 COMPLEXITÉ | 24 |
| 2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE CAPTEURS | 27 |
| 2.2.1 CAPTEUR INFRAROUGE PASSIF (PIR) | 28 |
| 2.2.2 CAPTEUR DE PROXIMITÉ INFRAROUGE | 30 |
| 2.2.3 CAPTEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE | 31 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.2.4 | ACCÉLÉROMÈTRE | 33 |
| 2.2.5 | CAMÉRAS VIDÉO ET MICROPHONES | 35 |
| 2.2.6 | TAPIS DE PRESSION | 37 |
| 2.2.7 | CAPTEUR DE DÉBIT | 38 |
| 2.2.8 | ULTRASONS | 40 |
| 2.2.9 | RFID | 41 |
| 2.2.10 | CAPTEUR ÉNERGÉTIQUE | 43 |
| 2.3 | MILIEUX EXISTANTS | 43 |
| 2.3.1 | ARCHITECTURE INDUSTRIELLE : LIARA & DOMUS | 44 |
| 2.3.2 | ARCHITECTURE ORIENTÉE SERVICE : GATOR TECH | 46 |
| 2.3.3 | «SMART HOME IN A BOX » : CASAS | 49 |
| 2.4 | CONCLUSION | 51 |
| CHAPITRE III – INFRASTRUCTURES | | 55 |
| 3.1 | LES DIFFÉRENTES ARCHITECTURES | 55 |
| 3.1.1 | ARCHITECTURE CENTRALISÉE | 55 |
| 3.1.2 | ARCHITECTURE DISTRIBUÉE | 57 |
| 3.2 | DONNÉES : LEUR INTERPRÉTATION ET LEUR COMMUNICATION | 59 |
| 3.2.1 | COMMUNICATION CAPTEUR | 59 |
| 3.2.2 | INTERPRÉTATION DES DONNÉES | 62 |
| 3.2.3 | COMMUNICATIONS SANS FIL | 65 |
| 3.3 | CONCLUSION | 71 |
| CHAPITRE IV – UN KIT MODULABLE DE CAPTEURS INTELLIGENTS FACILEMENT DÉPLOYABLE ET ADAPTABLE | | 74 |
| 4.1 | UN PROTOCOLE DE COMMUNICATION UNIFORMISÉ | 75 |
| 4.1.1 | CONCEPTION | 76 |
| 4.1.2 | RÉCEPTEURS DE PROTOCOLES | 79 |
| 4.1.3 | SÉCURITÉ DES DONNÉES | 80 |
| 4.2 | CAPTEURS INTELLIGENTS DE LIPSHOK | 81 |

| | | |
|---|---|------------|
| 4.3 | AMÉLIORATIONS POTENTIELLES PAR LE BIAIS DE NOUVELLES APPLICATIONS LOGICIELLES | 83 |
| 4.3.1 | STRUCTURE DE DONNÉES | 83 |
| 4.3.2 | EXEMPLES D'APPLICATIONS LOGICIELLES | 84 |
| CHAPITRE V – INTÉGRER LA SALLE DE BAIN SANS S'IMMISER DANS L'INTIMITÉ DES UTILISATEURS | | 86 |
| 5.1 | PROBLÉMATIQUES | 87 |
| 5.2 | UN ENSEMBLE DE CAPTEURS SANS PERTURBER LES UTILISATEURS | 90 |
| 5.2.1 | ARCHITECTURE PHYSIQUE | 90 |
| 5.2.2 | GESTION DE LA DONNÉE | 93 |
| 5.2.3 | PHASE DE CALIBRATION | 94 |
| 5.2.4 | SYSTÈME DE RECONNAISSANCE D'ACTIVITÉS | 96 |
| 5.3 | TESTS ET RÉSULTATS | 100 |
| 5.3.1 | RECONNAISSANCE D'ACTIVITÉS | 103 |
| 5.3.2 | RECHERCHE DES MEILLEURS PARAMÈTRES | 104 |
| 5.3.3 | PRÉCISION DES DÉTECTIONS | 107 |
| 5.3.4 | ACCEPTABILITÉ ET FACILITÉ D'INSTALLATION | 109 |
| 5.4 | DISCUSSION | 110 |
| 5.5 | CONCLUSION | 113 |
| CHAPITRE VI – MESURER LA VITESSE DE DÉPLACEMENT D'UN UTILISATEUR DIRECTEMENT CHEZ LUI | | 115 |
| 6.1 | PROBLÉMATIQUES | 116 |
| 6.1.1 | MÉTHODES STANDARDISÉES POUR LA MESURE DE LA VITESSE DE MARCHE | 117 |
| 6.1.2 | TECHNOLOGIES ACTUELLEMENT UTILISÉES | 118 |
| 6.1.3 | CONTEXTE MULTI-RÉSIDENTS | 119 |
| 6.1.4 | RECONNAISSANCE D'ACTIVITÉS SUR DES DISPOSITIFS PORTATIFS | 120 |
| 6.1.5 | LOCALISATION INTÉRIEURE BASÉE SUR LES RSSI | 121 |

| | | |
|--|--|------------|
| 6.2 | UN CAPTEUR FACILEMENT INSTALLABLE | 121 |
| 6.2.1 | COMPOSANTE MATÉRIELLE | 122 |
| 6.2.2 | GESTION DE LA DONNÉE ÉMERGENTE | 124 |
| 6.2.3 | DEUX CAS D'UTILISATION | 125 |
| 6.2.4 | ASSOCIATION DE LA VITESSE DE MARCHÉ À UN POI | 129 |
| 6.3 | TESTS ET EXPÉRIMENTATIONS | 130 |
| 6.3.1 | PRÉCISION DANS LA VITESSE DE MARCHÉ | 130 |
| 6.3.2 | IDENTIFICATION DES POI | 134 |
| 6.4 | DISCUSSION | 136 |
| 6.5 | CONCLUSION | 138 |
| | | |
| CHAPITRE VII – UNE FAÇON DE SUIVRE LES UTILISATEURS DANS LEUR ENVIRONNEMENT | | 141 |
| 7.1 | PROBLÉMATIQUES | 143 |
| 7.1.1 | IDENTIFICATION DES POI | 143 |
| 7.1.2 | TECHNOLOGIES UTILISÉES À L'HEURE ACTUELLE | 144 |
| 7.2 | UN CAPTEUR FACILEMENT INSTALLABLE | 145 |
| 7.2.1 | COMPOSANTES MATÉRIELLES | 146 |
| 7.2.2 | LES RESTRICTIONS DE VISION | 147 |
| 7.2.3 | GESTION DE LA DONNÉE | 148 |
| 7.3 | TESTS ET EXPÉRIMENTATIONS | 149 |
| 7.3.1 | MISE EN PLACE ET PROCÉDURE | 150 |
| 7.3.2 | RÉSULTATS | 151 |
| 7.4 | CONCLUSION | 153 |
| | | |
| CHAPITRE VIII – ÊTRE PRÉSENT À LA FOIS DANS L'ENVIRONNEMENT ET SUR LES UTILISATEURS | | 155 |
| 8.1 | CONCEPTION DU BRACELET ET GESTION DE SES DONNÉES | 156 |
| 8.1.1 | COMPOSANTE MATÉRIELLE | 156 |
| 8.1.2 | GESTION DE LA DONNÉE BRUTE | 159 |

| | | |
|--|---|------------|
| 8.1.3 | COMMUNICATION DE LA DONNÉE TRAITÉE | 160 |
| 8.2 | LE BRACELET COMME ÉTANT UNE SOURCE DE DONNÉES | 162 |
| 8.2.1 | LES DONNÉES COLLECTÉES | 162 |
| 8.2.2 | RECONNAISSANCE D'ACTIVITÉS LIÉES À LA MOBILITÉ | 163 |
| 8.3 | UTILISATION DU BRACELET POUR ASSOCIER DES ACTIVITÉS TIERCES À UN <i>POI</i> | 165 |
| 8.3.1 | AMÉLIORATION DE L'ENSEMBLE DE CAPTEURS INTELLIGENTS DE LA SALLE DE BAIN | 166 |
| 8.3.2 | AMÉLIORATION DU CAPTEUR DE VITESSE | 166 |
| 8.3.3 | AMÉLIORATION DU POSITIONNEMENT DES <i>POI</i> DANS L'ENVI- RONNEMENT | 167 |
| 8.4 | CONCLUSION | 168 |
| CHAPITRE IX – CONCLUSION GÉNÉRALE | | 169 |
| 9.1 | RÉPONSE À LA QUESTION 1 : RÉALISATION DU KIT DE CAPTEURS ADAPTATIF ET FACILEMENT INSTALLABLE | 170 |
| 9.2 | RÉPONSE À LA QUESTION 2 : GÉRER PLUSIEURS PROTOCOLES DE COMMUNICATION FACILEMENT POUR ASSURER L'ADAPTABILITÉ DU KIT | 172 |
| 9.3 | RÉPONSE À LA QUESTION 3 : AMÉLIORER L'IDENTIFICATION DES POI DANS LES HABITATS INTELLIGENTS | 172 |
| 9.4 | RÉPONSE À LA PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE | 173 |
| 9.5 | LIMITATIONS ET POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION | 174 |
| 9.5.1 | LIPSHOK | 174 |
| 9.5.2 | MODULES DE SALLE DE BAIN | 175 |
| 9.5.3 | MODULE DE DÉTECTION DE VITESSE DE MARCHÉ | 176 |
| 9.5.4 | MODULES PIR | 176 |
| 9.5.5 | BRACELET INTELLIGENT | 177 |
| 9.6 | APPORTS PERSONNELS | 178 |
| BIBLIOGRAPHIE | | 179 |
| APPENDICE A – CERTIFICATS D'APPROBATION ÉTHIQUE | | 201 |

| | | |
|------|---|-----|
| A.1 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-200 | 202 |
| A.2 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-200 (RENOUVELLEMENT 1) | 203 |
| A.3 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-200 (RENOUVELLEMENT 2) | 205 |
| A.4 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-201 | 206 |
| A.5 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-201 (RENOUVELLEMENT 1) | 207 |
| A.6 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-201 (RENOUVELLEMENT 2) | 209 |
| A.7 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-220 | 210 |
| A.8 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-220 (RENOUVELLEMENT) | 211 |
| A.9 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-035 (CIUSSS) | 212 |
| A.10 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-035 (CIUSSS, RENOUVELLEMENT 1) | 215 |
| A.11 | APPROBATION ÉTHIQUE 2019-035 (CIUSSS, RENOUVELLEMENT 2) | 217 |
| A.12 | APPROBATION ÉTHIQUE 2020-223 | 219 |
| A.13 | APPROBATION ÉTHIQUE 2020-223 (RENOUVELLEMENT) | 220 |
| A.14 | APPROBATION ÉTHIQUE 2020-223 (RENOUVELLEMENT 2) | 221 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| TABLEAU 2.1 : DIFFÉRENCES ENTRE LES ÉTIQUETTES RFID « ACTIVES » ET « PASSIVES » | 42 |
| TABLEAU 3.1 : LES DIFFÉRENTS TYPES DE CARACTÉRISTIQUES BLE ET LEUR FONCTION | 70 |
| TABLEAU 4.1 : FORMAT DE DONNÉES DEVANT ÊTRE UTILISÉ DANS LIPSHOK 80 | |
| TABLEAU 5.1 : MATRICE DE CONFUSION POUR LE DISPOSITIF DE LA TOILETTE. | 103 |
| TABLEAU 5.2 : MATRICE DE CONFUSION POUR LE DISPOSITIF DE LA DOUCHE ET DE LA BAIGNOIRE | 104 |
| TABLEAU 5.3 : CARACTÉRISTIQUES DE CLASSIFICATION EXTRAITES | 104 |
| TABLEAU 5.4 : DIFFÉRENCE DE TEMPS (EN SECONDES) ET SA REPRÉSENTATION EN POURCENTAGE ENTRE LES ACTIVITÉS RECONNUES ET LES NOTES DES PARTICIPANTS, UTILISANT LES PARAMÈTRES DÉFINIS À LA SECTION "RECHERCHE DES MEILLEURS PARAMÈTRES" | 108 |
| TABLEAU 5.5 : SCORES CORRESPONDANT À L'ÉVALUATION DE L'INSTALLATION DU SYSTÈME ET DE SON ACCEPTABILITÉ | 110 |
| TABLEAU 6.1 : DIFFÉRENCE MÉDIANE, VITESSE MÉDIANE ET DIFFÉRENCE MOYENNE POUR CHAQUE VITESSE | 140 |
| TABLEAU 7.1 : ASSOCIATION D'UN POI EN UTILISANT SEULEMENT LES RSSI | 152 |
| TABLEAU 7.2 : ASSOCIATION D'UN POI À UNE DÉTECTION DE MOUVEMENTS | 153 |
| TABLEAU 8.1 : DONNÉES DE CALIBRATION DE LA CENTRALE INERTIELLE. | 159 |
| TABLEAU 8.2 : COMPARAISON DES ALGORITHMES DE CLASSIFICATION COMMUNS | 165 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| FIGURE 1.1 – REPRÉSENTATION DES QUATRE DÉFIS DE LA RECONNAISSANCE D’ACTIVITÉS AU SEIN D’UN HABITAT INTELLIGENT 9 | |
| FIGURE 2.1 – REPRÉSENTATION D’UN DISPOSITIF INTELLIGENT | 25 |
| FIGURE 2.2 – SCHÉMA D’UN <i>PIR</i> DE SPARKFUN (<i>REPRODUIT EN VERTU DE LA LICENCE CREATIVE COMMONS</i>). | 26 |
| FIGURE 2.3 – SCHÉMA EXPLICATIF DU FONCTIONNEMENT D’UN <i>PIR</i> | 28 |
| FIGURE 2.4 – LENTILLE DE FRESNEL (<i>REPRODUIT EN VERTU DE LA LICENCE CREATIVE COMMONS</i>) | 29 |
| FIGURE 2.5 – LENTILLE DE FRESNEL MULTIPLE (<i>REPRODUIT EN VERTU DE LA LICENCE CREATIVE COMMONS</i>). | 29 |
| FIGURE 2.6 – CAPTEUR DE PROXIMITÉ INFRAROUGE ET SCHÉMAS | 31 |
| FIGURE 2.7 – SCHÉMA D’UN CIRCUIT POSSÉDANT UN INTERRUPTEUR ET UNE LED | 32 |
| FIGURE 2.8 – SCHÉMA RÉSUMÉ D’UN CAPTEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE DIT <i>NO</i> | 33 |
| FIGURE 2.9 – SCHÉMA D’UN SYSTÈME MASSE/RESSORT ILLUSTRANT L’UTILISATION D’UN ACCÉLÉROMÈTRE | 34 |
| FIGURE 2.10 – SCHÉMA D’UNE JAUGE DE DÉFORMATION. | 37 |
| FIGURE 2.11 – SCHÉMA D’UN CAPTEUR DE DÉBIT DE LIQUIDE | 39 |
| FIGURE 2.12 – SCHÉMA DE L’INSTALLATION D’UN CAPTEUR DE DÉBIT | 40 |
| FIGURE 2.13 – SCHÉMA DU PROCÉDÉ D’UN CAPTEUR À ULTRASON. | 41 |
| FIGURE 2.14 – SCHÉMA D’UNE INFRASTRUCTURE D’HABITAT INTELLIGENT INDUSTRIEL. | 45 |
| FIGURE 2.15 – SCHÉMA REPRÉSENTANT UNE ARCHITECTURE OSGI | 48 |
| FIGURE 2.16 – SCHÉMA REPRÉSENTANT L’ARCHITECTURE DE CASAS | 51 |

| | |
|---|-----|
| FIGURE 3.1 – SCHÉMA D’UNE INFRASTRUCTURE CENTRALISÉE | 57 |
| FIGURE 3.2 – SCHÉMA D’UNE INFRASTRUCTURE DISTRIBUÉE | 58 |
| FIGURE 3.3 – REPRÉSENTATION D’UN SIGNAL DIGITAL ET ANALOGIQUE . . | 60 |
| FIGURE 3.4 – DONNÉES DE CALIBRATION D’UN IRPS ET SA COURBE DE TENDANCE | 65 |
| FIGURE 3.5 – PRISE DE CONTACT EN TROIS ÉTAPES (TCP) | 66 |
| FIGURE 4.1 – SCHÉMA DE L’INFRASTRUCTURE LIPSHOK | 78 |
| FIGURE 4.2 – EXEMPLE D’UNE DONNÉE TRANSMISE PAR LIPSHOK | 84 |
| FIGURE 4.3 – EXEMPLE D’INTERFACE AVEC LIPSHOK. | 85 |
| FIGURE 5.1 – SCHÉMA D’UN MODULE IRPS DESTINÉ À LA SALLE DE BAIN . | 91 |
| FIGURE 5.2 – KIT DES DISPOSITIFS DESTINÉ À LA SALLE DE BAIN ET SON POSITIONNEMENT | 92 |
| FIGURE 5.3 – REPRÉSENTATION D’UN PAQUET RÉSEAU DANS NOTRE IN- FRASTRUCTURE. | 94 |
| FIGURE 5.4 – EXEMPLE D’INTERFACE UTILISATEUR À PROPOS DES DISPO- SITIFS DE LA SALLE DE BAIN | 95 |
| FIGURE 5.5 – F-SCORE POUR L’ANALYSE DE LA TOILETTE DANS UNE MAI- SON | 105 |
| FIGURE 5.6 – DIFFÉRENCE DE TEMPS POUR L’ANALYSE DE LA TOILETTE DANS UNE MAISON. | 106 |
| FIGURE 5.7 – F-SCORE POUR L’ANALYSE DE LA DOUCHE DANS UNE MAI- SON | 106 |
| FIGURE 5.8 – DIFFÉRENCE DE TEMPS POUR L’ANALYSE DE LA DOUCHE DANS UNE MAISON. | 107 |
| FIGURE 5.9 – SCHÉMA D’UNE SALLE DE BAIN TYPIQUE (LES ZONES ROUGES INDIQUENT LES MODULES, NE PAS SE FIER À LA TAILLE) . . . | 113 |
| FIGURE 6.1 – DISPOSITIF INTELLIGENT DE MESURE DE LA VITESSE DE MARCHE | 124 |

| | |
|--|-----|
| FIGURE 6.2 – SCHÉMA DE L'APPARTEMENT AVEC LE DISPOSITIF INTELLIGENT DE CALCUL DE LA VITESSE DE MARCHE INSTALLÉ | 131 |
| FIGURE 6.3 – DIFFÉRENCES ENTRE LES VITESSES MESURÉES ET CALCULÉES MANUELLEMENT : VITESSE NORMALE | 132 |
| FIGURE 6.4 – DIFFÉRENCES ENTRE LES VITESSES MESURÉES ET CALCULÉES MANUELLEMENT : VITESSE RAPIDE | 132 |
| FIGURE 6.5 – DIFFÉRENCES ENTRE LES VITESSES MESURÉES ET CALCULÉES MANUELLEMENT : VITESSE LENTE | 133 |
| FIGURE 6.6 – FORCE (EN DBM) DU SIGNAL RSSI EN FONCTION DE LA DISTANCE. | 135 |
| FIGURE 6.7 – RÉPARTITION DES BRACELETS SIMULÉS LORS DE L'EXPÉRI-MENTATION | 136 |
| FIGURE 6.8 – TAUX DE BONNE ASSOCIATION ENTRE UNE VITESSE DE MARCHE ET SON POI. | 137 |
| FIGURE 7.1 – DISPOSITIF INTELLIGENT DE CAPTURE DE RSSI BLE ET DE MOUVEMENTS | 147 |
| FIGURE 7.2 – SCHÉMA DE L'APPARTEMENT AVEC LES DISPOSITIFS INTELLIGENTS PIR | 150 |
| FIGURE 8.1 – SCHÉMA ÉLECTRONIQUE DU BRACELET (RÉALISÉ AVEC LE LOGICIEL <i>FRITZING</i>) | 157 |
| FIGURE 8.2 – IMAGE DU BRACELET ASSEMBLÉ | 158 |
| FIGURE 8.3 – COMPRESSION DES DONNÉES DE LA CENTRALE INERTIELLE. | 161 |

LISTE DES ABRÉVIATIONS

| | |
|----------------|--|
| 5MWT | Test de marche sur 5 mètres |
| 6MWT | Test de marche sur 6 minutes |
| 10MWT | Test de marche sur 10 mètres |
| AD | Arbre de décision |
| ADC | Convertisseur analogique vers digital |
| ADL | Activités de la vie quotidienne |
| AES | Norme de Chiffrement avancé |
| BLE | Bluetooth Basse Energie |
| CER | Comité d’Ethique de la Recherche de l’UQAC |
| DCL | Déficience Cognitive Légère |
| DM1 | Dystrophie Myotonique de type 1 |
| FN | Faux Négatif |
| FP | Faux Positif |
| LIPSHOK | LIARA Portable Smart Home Kit |
| I2C | Circuit Inter-Intégré |
| IA | Intelligence Artificielle |
| IADL | Activités instrumentalisées de la vie quotidienne |
| IAm | Intelligence Ambiante |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IMU | Centrale inertielle |
| IoT | Internet of Things |
| IP | Protocole Internet |
| IV | Vecteur d’initialisation |
| IRPS | Capteur de proximité infrarouge |
| JSON | Notation d’Objets en JavaScript |
| kNN | k plus proches voisins |
| LED | Diode électroluminescente |
| LIARA | Laboratoire d’Intelligence Ambiante pour la Reconnaissance d’Activités |
| MLP | Perceptron multicouche |
| NB | Naïve Bayes |
| ONU | Organisation des Nations Unies |

| | |
|-------------|---------------------------------------|
| OSGI | Open Services Gateway initiative |
| PIR | Capteur infrarouge passif |
| POI | Personne d'intérêt |
| PWM | Modulateur de largeur d'impulsions |
| RF | Forêts d'arbres décisionnels |
| RFID | Identification par Radiofréquence |
| RSSI | Indicateur de force de signal reçu |
| SPI | Interface Périphérique Série |
| SVM | Machine à vecteurs de support |
| TCP | Protocole de contrôle de transmission |
| TUG | Timed-Up-And-Go |
| UDP | Protocole de datagramme utilisateur |
| UQAC | Université du Québec à Chicoutimi |
| UWB | Ultra-Large Bande |
| VN | Vrai Négatif |
| VP | Vrai Positif |
| WLAN | Réseau local sans fil |

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de thèse, Sébastien Gaboury, qui m'encadre depuis ma maîtrise et m'a fait confiance pour la réalisation de ces travaux. Il m'a soutenu et encouragé dans des moments où les défis étaient complexes. Je tiens aussi à remercier mon codirecteur de thèse, Kévin Bouchard, qui m'a suivi dans l'élaboration de ma thèse et a fourni des commentaires constructifs. Tous deux n'ont eu de cesse de m'encourager dans mes projets personnels, même si cela devait empiéter légèrement sur la thèse, ce qui est une preuve de confiance importante. Merci aussi pour le financement qu'ils m'ont accordé tout au long de ces années.

En second lieu, je remercie l'ensemble de mes collègues au LIARA qui sont devenus de très bons amis. Tous mes amis m'ont permis de faire des pauses dans la thèse lorsqu'il y en avait besoin, de me divertir et même de découvrir des activités que je n'aurais jamais explorées autrement. Bien que cette fin de thèse soit assez pauvre en relations (covid oblige ...), j'ai hâte qu'on puisse fêter dignement autour d'un barbecue !

Ensuite, je tiens à remercier ma famille en France, qui malgré la distance a su m'encourager tout au long de la thèse. Votre soutien a été très important pour que je puisse rester concentré jusqu'au bout.

Enfin, je tiens à remercier ma compagne, Sophie Tremblay-Bolduc, qui m'a permis d'agrandir la famille Chapron, ici au Québec. Ta force et persévérance sont deux qualités qui ont été mises à rude épreuve pendant la grossesse et les premiers mois de Lily, sans pour autant être aidé par les conditions de pandémie actuelles. Tu as certainement été une source d'inspiration au quotidien sans laquelle j'aurais abandonné plusieurs de mes projets.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Depuis plusieurs décennies, l'espérance de vie moyenne mondiale n'a cessé de croître. Selon le dernier rapport de l'Organisation des Nations Unies ([United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2019](#)), la quantité de personnes âgées a considérablement augmenté. En 2018, la quantité de personnes âgées de plus de 65 ans a dépassé la quantité d'enfants de moins de 5 ans, et ce, pour la première fois de l'histoire. De plus, bien que 9 % de la population était dans cette tranche d'âge en 2019, une augmentation est prévue pouvant aller jusqu'à 16 % de la population en 2050. Cette tendance ne semblant pas prête à s'inverser, il faudra donc trouver un moyen de s'occuper de ces aînés ainsi que de l'apparition des divers problèmes de santé y étant reliés.

Il est bien connu que les personnes les plus âgées sont souvent les plus vulnérables vis-à-vis des maladies, mais certaines les touchent particulièrement : c'est notamment le cas de plusieurs formes de dégénérescences physiques et/ou mentales. Ces maladies peuvent entraîner chez les personnes touchées des isolements sociaux, des problèmes musculaires, des démences plus ou moins fortes, etc. Selon l'ONU ([Wimo et al., 2018](#)), le montant associé aux frais engendrés par la société pour s'occuper des personnes touchées atteint plus de 10 milliards, rien qu'au Canada. De plus, ce chiffre n'est pas prêt de diminuer puisqu'une potentielle croissance de 242 % du nombre de concernés est prévue pour 2050 (augmentation représentant 77 millions de personnes).

Cependant, que ce soit une dégénérescence physique ou mentale, les personnes vont très souvent perdre leur autonomie progressivement. Certaines conditions ou maladies ont

d'ailleurs une progression très lente. Par conséquent, l'aide de la famille ou de personnel médical s'étalera sur plusieurs années. Une alternative potentielle afin de minimiser les besoins en termes de ressources humaines serait de déménager la personne dans un foyer spécialisé. Cependant, les personnes en perte d'autonomie ont généralement le désir de demeurer le plus longtemps possible dans leur domicile (Le *et al.*, 2008; Hellstrom *et al.*, 2004). Plusieurs raisons appuient ce choix, allant du confort, des habitudes, jusqu'aux montants importants que demandent les foyers offrant des services adaptés. De ce fait, rester chez soi et recevoir malgré tout des soins quotidiens peut engendrer des dépenses (si du personnel applique les soins) ou un lourd fardeau (si un proche aidant intervient). Mondialement, ces frais s'élevaient à environ mille milliards de dollars américains annuellement, soit plus de trois fois le chiffre d'affaires du géant commercial en 2019 *Amazon* (Alzheimer's Association, 2020). Toutes ces dépenses sont sans compter la responsabilité qu'engendre ces personnes auprès de leur famille qui doit s'occuper d'eux de façon quotidienne, au risque de lourdes conséquences. Cependant, depuis une quinzaine d'années, l'IAM (Intelligence Ambiante) a émergé comme un nouveau domaine de recherche ayant le potentiel de s'attaquer au maintien à domicile des personnes âgées en déployant des technologies directement à leur domicile afin de diminuer l'encadrement normalement requis auprès d'elles. Les maladies de Pick ou encore d'Alzheimer (Alzheimer's Association, 2020), sans s'y limiter, sont des exemples de cas d'application des technologies d'assistance à domicile. Par ailleurs, bien que les personnes âgées soient une clientèle cible pour les technologies d'assistance à domicile, elles peuvent être appliquées à beaucoup plus de cas. En effet, quelqu'un étant atteint d'une maladie comme la dystrophie myotonique de type I (DM1) peut être très jeune et pourtant bénéficier d'une telle technologie. De telles technologies pourraient aussi être très efficaces, dans plusieurs autres contextes, pour les chercheurs dans le monde afin de pousser leurs recherches. Par exemple, équiper une résidence de certains capteurs ainsi que la personne y vivant de capteurs physiologiques portatifs, lorsque cette

personne est atteinte de maladies chroniques complexes (jeune ou âgée), permet de monitorer à distance l'état de santé du résident.

Afin de mieux comprendre ce que représente cette technologie, il est de convenance de la définir correctement.

1.2 INTELLIGENCE AMBIANTE : INFRASTRUCTURE D'UN HABITAT INTELLIGENT

L'Intelligence Ambiante a pu voir le jour grâce aux nombreuses avancées technologiques réalisées dans les dernières décennies dans les domaines de l'informatique et de la micro-électronique (Weber & Rabaey, 2005). En effet, nous avons pu observer que les différents dispositifs électroniques disponibles sur le marché deviennent de plus en plus puissants chaque année, tout en ayant un prix et une taille inférieure à leurs prédécesseurs. Certains dispositifs utilisant des batteries ont également une consommation réduite à chaque itération, ce qui a grandement favorisé l'émergence de l'IAm (Cook *et al.*, 2009).

Le concept de l'IAm réside dans le fait d'enrichir un environnement avec de la technologie pour avoir un système capable d'interpréter les caractéristiques de son milieu dans le but d'extrapoler des informations relatives à la vie de son occupant. Avec celles-ci, de multiples applications existent : veiller à la bonne santé d'une personne dans un contexte médical, aider à prendre des décisions avec des personnes atteintes cognitivement, augmenter la sécurité lorsque des activations semblent illégitimes (p. ex., une baignoire qui coule depuis trop longtemps), etc. On retrouve notamment ces applications de l'IAm dans les habitats intelligents, qui seront à la base de cette thèse. Dans ce contexte, la technologie est composée de nombreux dispositifs (capteurs et effecteurs) intelligents placés dans l'environnement pour collecter des données relatives aux activités de son occupant. On peut retrouver une grande diversité de

capteurs : caméras, accéléromètres, capteurs électromagnétiques, capteurs de mouvements et tout autant d'effecteurs : ampoule, haut-parleurs, écran. Une fois que les capteurs ont collecté assez de données et que le système aura tenté, via des algorithmes d'Intelligence Artificielle (IA) par exemple, de reconnaître de façon automatique les différentes activités réalisées, les effecteurs peuvent servir à donner un retour sur l'information au besoin ou à agir en cas d'urgence ([Lapointe et al., 2013](#)). Par exemple, si un capteur d'écoulement d'eau indique que le robinet de la baignoire est ouvert et délivre de l'eau à un rythme de 0,2 L/s depuis 40 minutes (totalisant alors 480 L), alors que la baignoire ne peut en contenir que 490 L, le système pourrait détecter le risque imminent et agir sur l'environnement afin d'empêcher le dégat d'eau. Ici, l'effecteur serait un interrupteur installé, préalablement, au niveau du robinet. Un autre exemple serait qu'une personne porte un bracelet intelligent équipé d'un accéléromètre et ayant accès, en temps réel, aux informations en provenance d'un baromètre et d'un thermomètre installés à l'extérieur du domicile de même qu'un écran intelligent dans le vestibule. Ainsi, lorsque l'appartement intelligent détecterait, via l'accéléromètre et un détecteur de présence dans le vestibule, que l'utilisateur est en train de s'habiller, il pourrait être indiqué sur l'écran des suggestions d'habillements en fonction de la météo actuelle.

Or, ce type d'interactions nécessite au système de reconnaître les activités réalisées par l'habitant et cette reconnaissance d'activités est un domaine de l'IA à part entière. Afin de bien reconnaître les activités de l'habitant, il est préférable que les données brutes, en provenance des différents capteurs, soient d'une grande qualité et de précision. Pour ce faire, il y a, à notre disposition, une quantité phénoménale de capteurs. Chaque capteur possède des caractéristiques telles que son prix, sa précision, son degré d'intrusivité de la vie privée, sa complexité d'installation et le type de valeurs qu'il envoie. En particulier, le type de valeurs émises par certains capteurs entraînent, souvent, des traitements informatiques complexes afin de les rendre intelligibles (p. ex., images vidéos, signaux électriques, forces de signaux

électromagnétiques). Dans le contexte des habitats intelligents, on retrouve souvent les capteurs et effecteurs suivants : les caméras vidéo, les microphones, les détecteurs de mouvement, les analyseurs de consommation d'électricité, les antennes et les étiquettes d'identification par radiofréquences (RFID), les contacts électromagnétiques, les capteurs infrarouges de proximité, les tapis à capteurs de pression, les capteurs d'intensité lumineuse, les capteurs de débit (fluide), les capteurs de température, les capteurs à ultrasons, les accéléromètres, les montres intelligentes, les tablettes, les écrans tactiles, et bien d'autres (Bouchard *et al.*, 2014). Cette grande variété de dispositifs sera détaillée dans la Section 2.2.

Bien évidemment, lorsque tous les capteurs nécessaires ont été sélectionnés, ces derniers doivent être installés au domicile de la personne. Initialement, les membres des équipes de recherche ou des techniciens les installaient (Bouchard *et al.*, 2014), mais l'avènement de nouvelles façons de faire poussent parfois la famille ou les personnes d'intérêt (POI) à faire eux-même l'installation (Hu *et al.*, 2016). Une fois les capteurs correctement installés, les données qui seront collectées par ces derniers nécessiteront diverses transformations afin d'être intelligibles. En effet, un capteur renvoie généralement une donnée purement électronique, à savoir, un voltage en rapport avec sa conception initiale. Un premier traitement est souvent donc de convertir les valeurs retournées par les capteurs en information interprétable (p. ex., pour un certain capteur, une valeur retournée de 0,42 V se convertit en une distance de 1,35 mètres), et ce, pour chaque variété de capteurs utilisés. Ensuite, il faut pouvoir communiquer les informations extraites par l'ensemble de ces capteurs afin d'être fusionnées et analysées par différents algorithmes de reconnaissance d'activités. Cette dernière étape sera étudiée plus en profondeur dans la prochaine section.

Toutefois, la majorité des capteurs industriels retrouvés a un défaut important : les données générées sont d'une complexité faible. Par exemple, on peut retrouver le détecteur de mouvements infrarouge passif (PIR), les plaques de pression, les contacts électromagnétiques,

qui donnent des valeurs très fiables, mais dont la complexité est faible. En effet, lorsqu'un PIR affirme qu'un mouvement a été réalisé dans une pièce, il ne peut en revanche pas préciser quelle est la source de celui-ci (un POI, un animal, un invité, etc. ; (Roy, 2012)). On peut aussi retrouver des capteurs environnementaux, comme des thermomètres, des capteurs de lumières, qui vont donner des données précises, sans émettre plus de détails liés au contexte. Dans ce sens, il serait intéressant de voir à quel point il serait possible d'améliorer ce type de capteurs afin d'émettre une donnée plus qualitative. Par exemple, au lieu d'avoir un dispositif sur une toilette indiquant qu'un utilisateur a tiré la chasse d'eau à un temps t , il pourrait retourner l'identité de la personne ayant effectué l'action ainsi que le temps qu'il a pris à la réaliser. Ceci pourrait permettre de faire une surveillance sur le long terme des habitudes d'une personne (Hoey *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2013; Sprint *et al.*, 2016; Alberdi Aramendi *et al.*, 2018).

Ainsi, nous avons pu constater dans cette section qu'il existait beaucoup de capteurs, retournant des données sous des formes très différentes les unes des autres en fonction de leur type. Bien que les données résultant de l'utilisation de capteurs industriels soient généralement de bonne qualité, leur complexité faible occasionne un manque à combler. Pour cette raison, la conception de capteurs plus complexes et retournant des données plus complètes serait de mise. Cependant, une telle conception retrouve les mêmes problèmes observés auparavant, à savoir quelles caractéristiques et quels protocoles utiliser.

Au vu des problématiques émises, on peut se demander : « Comment concevoir un ensemble de capteurs pouvant être déployé facilement dans un habitat, afin de le rendre *intelligent* ? »

1.3 LA RECONNAISSANCE D'ACTIVITÉS

Dans le monde de la recherche, on définit deux types d'activités de la vie quotidienne bien segmentés. Ces deux définitions ont été apportées par [Lawton & Brody \(Lawton & Brody, 1969\)](#) et s'énoncent sous la forme suivante :

Activités de la vie quotidienne (ADL) : Cette catégorie regroupe l'ensemble des activités minimales qu'un humain doit pouvoir effectuer seul pour être considéré comme étant à minima semi-autonome. Par exemple, «se nourrir», «se laver» ou «se déplacer» en font partie, puisqu'elles ne sont composées que de très peu d'étapes et ne requièrent que peu de planification et de concentration.

Activités instrumentalisées de la vie quotidienne (IADL) : Cette catégorie regroupe l'ensemble des activités ADL agrémentées de nouvelles activités dites instrumentalisées. C'est la combinaison de ces nouvelles activités avec les ADL basiques qui va nous permettre de juger si la personne est complètement autonome ou semi-autonome. On peut par exemple y retrouver «téléphoner », «s'occuper de la maison », «gérer sa médication », etc. Ces activités sont constituées de plusieurs étapes et requièrent un niveau plus conséquent de concentration et de planification.

Maintenant que ces deux définitions sont données, il est possible de continuer sur l'objectif principal de cette section : la reconnaissance d'activités dans un contexte d'habitat intelligent. Étroitement liée au domaine de l'IA, elle connaît un intérêt grandissant auprès de la communauté scientifique ([Wilson & Atkeson, 2005](#); [Bang et al., 2008](#); [Cook et al., 2009](#); [Krishnan & Cook, 2014](#); [Giroux et al., 2015](#); [Tran et al., 2020](#); [Duffy, 2017](#)). La première définition de la reconnaissance d'activités a été proposée par [Schmidt et al. \(Schmidt et al., 1978\)](#). Ceux-ci l'ont défini comme étant le problème de la découverte du but visé par l'habitant à partir de la séquence d'actions qu'il réalise. Cependant, afin de pouvoir reconnaître

les différentes actions que la POI accomplit, il est nécessaire que les capteurs délivrent des données pertinentes, qui une fois traitée par différents algorithmes, deviendra de l'information importante. Une fois cette opération réalisée sur les différents capteurs mis en place, il sera possible via les différentes informations collectées de reconnaître les actions effectuées, afin d'en observer les séquences pour tenter d'inférer l'activité finale exécutée par l'habitant.

Cependant, la reconnaissance d'activités dans le domaine des habitats intelligents a son lot de défis. Inspirés des travaux de [Patterson *et al.* \(Patterson *et al.*, 2003\)](#), [Roy *et al.* \(Roy *et al.*, 2013\)](#) ont caractérisé quatre grands défis pour mettre en place la reconnaissance d'activités à base de données issues de plusieurs capteurs. Le premier consiste en la récupération uniforme des données, quelque soit le capteur duquel elle provient. Pour ce faire, on doit fournir une seule et même interface capable de gérer plusieurs protocoles de communication, afin que différents capteurs opérant sur différents protocoles puissent dialoguer dans le même réseau (p. ex., Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet, etc.). Le second défi est de pouvoir comprendre ces données afin de les rendre intelligibles. En effet, un accéléromètre renvoie des valeurs en volts, tandis que ces valeurs correspondent à une valeur d'accélération, en *g*. Ce type de conversion est donc réalisé en réponse au deuxième défi. Quant au troisième défi, il faut réussir à définir la nuance entre une action et une activité. Une action est un événement reconnu par un système, à partir des données d'un ou plusieurs capteurs. Par exemple, en reprenant le thème de l'accéléromètre, quelques secondes de données peuvent indiquer que l'utilisateur est en train de marcher, ou de rester assis, etc. Cette reconnaissance est un problème de classification qui doit se dérouler constamment, puisque le prochain et dernier défi, à savoir la reconnaissance d'activités, se base sur les actions déjà déroulées pour inférer une activité de plus haut niveau. Cet enchaînement est résumé dans la Figure 1.1 suivante.

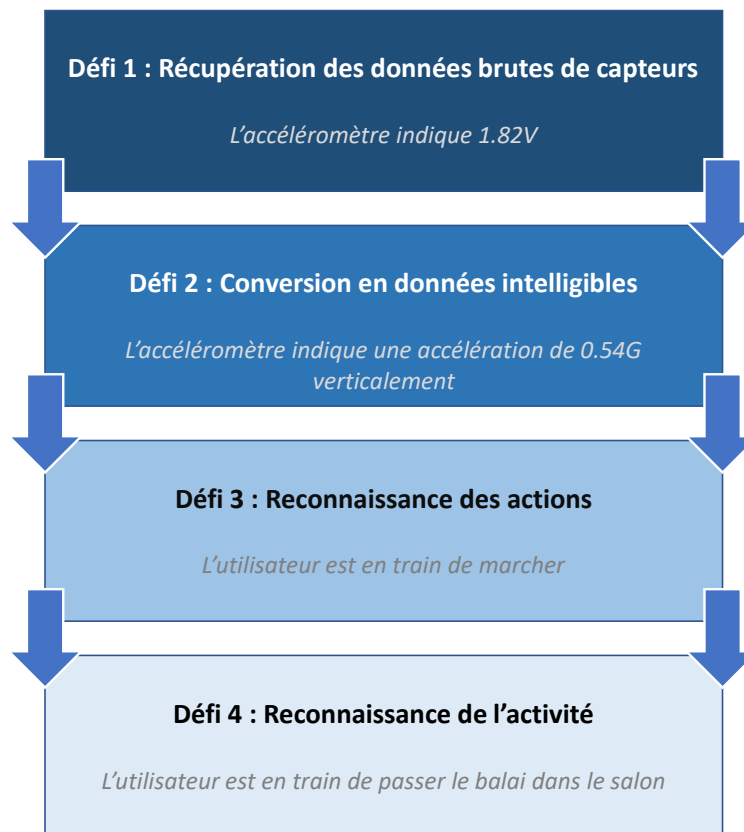


Figure 1.1 : Représentation des quatre défis de la reconnaissance d'activités au sein d'un habitat intelligent

Pour répondre à ces défis et puisque ces couches sont bien distinctes, la meilleure façon de faire est de créer quatre programmes logiciels capables de répondre respectivement à un des défis. De ce fait, la répartition des tâches sera mieux équilibrée et chaque problème sera traité par un seul programme. Ensuite, ceux-ci doivent être capables de communiquer ensemble, puisque la majorité des défis nécessitent les données du défi précédent afin de fonctionner correctement (à l'exception du premier défi qui est basé sur le capteur matériel). En suivant cette logique, le système sera capable de reconnaître l'activité réalisée par l'utilisateur dans son habitat.

Cependant, une phase est cruciale pour la bonne interprétation des données : il faut les récupérer pour pouvoir les utiliser ensemble. Or, les différents capteurs existants sur le marché ont tous des protocoles de communication différents, causant alors de nombreuses complications. En effet, on retrouve, dans le domaine des habitats intelligents, les protocoles de communication suivants : Wi-Fi (Plantevin *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2016), Bluetooth et son compère consommant moins d'énergie, le BLE (Mokhtari *et al.*, 2017c; Thaljaoui *et al.*, 2015), ZigBee (Cook *et al.*, 2013a), Z-wave (Ngankam *et al.*, 2019) RFID (Sadowski & Spachos, 2018; Wilson & Atkeson, 2005; Bouchard *et al.*, 2014), etc. Tous ces protocoles ont des formats de données très différents nécessitant des adaptations logicielles souvent demandantes en terme de temps de développement. Ainsi, bien que certains peuvent dialoguer sur de grandes quantités de données (Wi-Fi, Bluetooth), d'autres ont des restrictions en ces termes (BLE, ZigBee) qui contraignent fortement l'utilisateur. Par exemple, alors que Wi-Fi gère habituellement des paquets de données comportant environ 1 500 octets, le BLE ne peut en envoyer que 20 octets à la fois.

C'est pourquoi la composition d'un système capable de prendre en main de nombreux protocoles de communication est indispensable dans ce domaine. Or, dans le monde de la recherche, il n'existe pas de tels systèmes; les différentes équipes s'appuient habituellement sur un seul protocole et créent leur propre kit de capteurs à partir de capteurs communiquant via ce protocole, ce qui réduit drastiquement leur choix en termes de dispositifs disponibles (Cook *et al.*, 2013b; Mokhtari *et al.*, 2017c; Ngankam *et al.*, 2019). Cependant, au cours des dernières années, plusieurs nouveaux produits dans le domaine de la domotique ont émergé, comme le Homey Pro (Athom B.V., 2021) qui sert de passerelle pour plusieurs protocoles de communication, comme le Wi-Fi, le Bluetooth, le Z-Wave, le ZigBee, l'infrarouge ou encore pour les ondes 433 MHz ou 868 MHz. Ainsi, il est possible d'obtenir un tel dispositif dans le monde de la recherche, et ainsi se poser la question suivante : Comment faire en sorte que de multiples

protocoles puissent être gérés facilement par un kit de capteurs facilement déployables, afin de pouvoir ajouter de nouveaux capteurs sans avoir de gros efforts de développement à mettre en oeuvre ? En outre, le développement d'un tel système va permettre de rendre accessible les habitats intelligents à un plus grand public. Bien installé dans l'imagination des personnes, ce type d'infrastructure reste souvent au stade de rêve, souvent freinés par l'aspect financier, que ce soit pour un usage de particuliers, d'industriels ou même d'équipes de recherche. Ainsi, la création d'un kit de capteurs facilitant le développement va permettre à une plus grande portion de personnes de pouvoir s'y intéresser à moindre coût, créant alors un engouement plus important pour les habitats intelligents et ce qui s'y raccrochent.

Pour finir, bien qu'un système capable de communiquer avec toute sorte de dispositifs soit très pratique, il reste un autre problème majeur dans le domaine de la reconnaissance d'activités dans les habitats intelligents. En effet, l'ensemble des algorithmes de reconnaissance d'activités reposent, majoritairement, sur l'hypothèse qu'une seule personne habite le domicile. Que se passe-t-il lorsque plusieurs personnes vivent sous le même toit ? Comme nous verrons dans la section suivante, les études actuelles possèdent de nombreuses lacunes en ce qui concerne la gestion du contexte multi-résidents.

1.4 LA GESTION DU CONTEXTE MULTI-RÉSIDENTS

La majorité des habitats intelligents actuels ont un comportement similaire : plusieurs capteurs disposés dans l'habitat retournant des données relatives aux comportements de leur utilisateur unique. En effet, ils sont pratiquement toujours utilisés dans le cadre de personnes vivant seules, ce qui facilite l'analyse des données en provenance des capteurs puisque nous savons qu'il n'y a qu'un seul habitant à monitorer. Par exemple, si les capteurs détectent que l'activité *passer le balai dans le salon* a eu lieu, il est évident que ce soit le seul habitant possible qu'il l'ait réalisée. Or, une question se pose : Comment procéder, à la fois, à la

reconnaissance de l'activité et à l'identification de la personne l'ayant complétée dans un contexte où plusieurs résidents vivent sous le même toit ?

En 2005, [Wilson & Atkeson \(Wilson & Atkeson, 2005\)](#) ont réalisé une étude mettant en valeur la nécessité de pouvoir identifier les utilisateurs de ces dits capteurs. Leur façon de gérer ce cas était de réunir l'ensemble des déclenchements de capteurs émis afin d'extrapoler lesquels avaient pu être causés par les mêmes personnes. De ce fait, ils garantissaient l'anonymisation de l'utilisateur, mais ne pouvaient, en revanche, garantir que leur extrapolation donnait à tous les coups le bon résultat (ils obtiennent de bons résultats lorsqu'il y a peu d'habitants, mais ceux-ci se dégradent très rapidement au fur et à mesure que le nombre de personnes présentes dans le domicile augmente). Ce type de méthode, similaire à celle de [Tran *et al.*](#) représente un système de classification où, en plus de l'activité, la personne concernée doit être bien reconnue ([Tran *et al.*, 2020](#)). En admettant à la fois un bon taux de reconnaissance et d'identification, ce mode de suivi permet de savoir, à partir d'une donnée fournie au temps $t - 1$, où est l'utilisateur au temps t . Cependant, si après avoir passé du temps dans le domicile, les résidents (maximum de deux pour cette méthode) quittent celui-ci, il n'y aura plus moyen d'identifier qui sera rentré en premier, et donc, la méthode s'avérera inutilisable. Aussi, un autre problème peut facilement survenir avec ce type de méthode utilisée : l'ajout de personnes n'étant pas des POI. En effet, si les algorithmes permettent de bien traquer les résidents habituels, que leur arrivent-ils lorsque des visiteurs s'introduisent dans l'habitat ? Ces derniers déclencheront également des capteurs et vont faire chuter drastiquement les taux de reconnaissance des activités réalisées par les habitants.

Afin de résoudre ce problème majeur dans le monde des habitats intelligents en contexte multi-résidents, d'autres chercheurs ont proposé diverses solutions potentielles. [Bang *et al.* \(2008\)](#) a proposé différents dispositifs électroniques devant être portés par les personnes dont les activités sont surveillées. Dans leur étude, ils ont simplement fait des essais sur

les possibilités créées par les technologies portatives. Leur expérimentation a prouvé que de munir les POI d'un capteur portatif, comme un accéléromètre, permettait d'acquérir des informations très importantes à leur sujet, en plus de fournir des indices sur leurs déplacements dans l'environnement. Cependant, comme ils n'ont pas poussé plus leurs expérimentations permettant d'extraire plus d'informations, il est cohérent de s'intéresser à une étude plus récente, reposant sur le même principe. [Mokhtari et al. \(Mokhtari et al., 2018\)](#) ont introduit une méthode qui consiste en l'utilisation de plusieurs dispositifs BLE étant portés par les résidents afin d'être détectés par des téléphones intelligents positionnés, au préalable, dans le domicile. Cette méthode de suivi utilise les ondes radio émises par les dispositifs portés, pour être collectées par les téléphones servant de récepteur afin de pouvoir enfin détecter quel dispositif envoie la plus grande force de signal, appelée Indicateur de force de signal reçu (RSSI). Avec cette méthode, ils sont capables d'identifier correctement quelle personne se trouve dans quelle pièce, tout en ayant une solution légère et facile à déployer. Cependant, ce type d'infrastructure est dispendieuse puisqu'elle nécessite l'achat d'un téléphone intelligent par pièce de l'environnement (≈ 600 \$ pour un habitat composé de quatre pièces). De plus, ce type de solution ne prend jamais en compte le fait qu'un résident (qui peut être un invité, ou un POI ne portant pas le dispositif) ne porte pas ledit dispositif.

D'autres équipes se sont notamment intéressées aux caractéristiques physiques des habitants, via l'utilisation de capteurs tels que des caméras ([Shakhnarovich et al., 2001](#)), des tapis de pression évaluant le poids de la personne se tenant sur celui-ci ([Jenkins & Ellis, 2007](#)) ou encore, des capteurs à ultrasons afin d'extraire la taille des résidents les croisant ([Srinivasan et al., 2010](#)). Chacune de ces méthodes possède des avantages et des inconvénients. En premier lieu, les études intégrant les caméras, similaires à celle de [Shakhnarovich et al.](#), nécessitent du matériel généralement assez dispendieux afin d'analyser la quantité d'images collectées. De plus, beaucoup d'études ont été menées quant à l'utilisation de caméras et/ou

des microphones et révèlent que ces dispositifs créent une gêne flagrante dans l'intimité des résidents (Klasnja *et al.*, 2009; Zheng *et al.*, 2018) puisque ces images/sons sont stockés et pourraient, potentiellement, être utilisés à mauvais escient. L'équipe de Motti & Caine a réalisé une étude pour déterminer les préoccupations des utilisateurs en fonction du type de capteur utilisé (Motti & Caine, 2015). Cette étude a montré que les utilisateurs étaient plus préoccupés lorsque le dispositif impliqué était une caméra ou un microphone que lorsque des GPS ou encore des dispositifs portatifs récupérant des informations sur les mouvements, la respiration ou le rythme cardiaque étaient employés. Ils indiquent cependant que ces dernières informations sont souvent sous-estimées en terme d'utilisation par un tier malveillant, lorsque cette information est collectée pendant longtemps.

De ce fait, l'adoption de ces dispositifs est appropriée lorsque la nécessité d'obtenir des informations d'une extrême précision surpasse la gêne occasionnée dans l'intimité des observés. En second lieu, les études utilisant un tapis de pression, telles que celle de Jenkins & Ellis (Jenkins & Ellis, 2007), peuvent se servir de plusieurs variables afin de déterminer quelle personne est actuellement en train d'être observée : son poids, sa vitesse de marche ou même sa façon de marcher. Ce type de méthode a l'avantage de ne pas créer de problèmes quant à l'intimité chez les personnes monitorées, tout en offrant un taux d'identification acceptable (39 % pour 62 enfants). Cependant, l'usage de ce type de tapis nécessite une installation prudente puisque la moindre irrégularité pourrait fausser les données. De plus, cela peut causer un évident problème esthétique puisque ce sont des capteurs assez grands (et coûteux) qui doivent être acceptés par les résidents. En dernier lieu, les travaux utilisant la taille des résidents (Srinivasan *et al.*, 2010) pour l'identification de ceux-ci reposent sur l'usage de capteurs à ultrasons qui nécessitent des conditions d'utilisation particulières. En effet, il faut que le capteur soit situé directement au-dessus des résidents et Srinivasan *et al.* indiquent qu'afin d'obtenir des résultats fiables, il faut une différence de taille entre les différents résidents

d'au moins 7 cm. Ceci complique la tâche puisque selon eux, la majorité de la population possède une taille variant entre 160 cm et 180 cm. Leur étude se base sur le principe qu'une habitation n'accueille habituellement que très peu de personnes, possédant généralement des tailles différentes les unes des autres. Aussi, les capteurs sont placés au niveau des portes dans l'habitat, permettant d'identifier la personne lorsqu'elle passe d'une pièce à l'autre, mais peut causer des problèmes pour des personnes très peu actives. Enfin, les identifications basées sur les caractéristiques physiques nécessitent presque toujours une installation assez complexe qui peut causer des problèmes d'intrusion dans la vie privée des habitants. Cependant, elles offrent de bons taux d'identification et sont assez efficaces en ce qui concerne le suivi des personnes vivant dans l'habitat.

En résumé, nous avons observé différentes façons d'identifier les résidents dans le même environnement. Certaines font l'usage de dispositifs portatifs, d'autres utilisent les données biométriques ou encore, essaient de transformer cette tâche en un problème de classification. Cependant, bien que chacune des méthodes examinées offrait des avantages et des inconvénients, la majorité d'entre elles étaient très dépendantes des circonstances puisqu'elles nécessitaient un environnement particulier (installation par des professionnels qualifiés, très coûteux, atteinte potentielle à la vie privée, etc.). Au vu des études observées, on peut alors se poser la question suivante : « Dans le contexte d'habitat intelligent, quelle solution proposée afin d'améliorer l'identification des résidents effectuant des activités afin de les dissocier facilement de leurs visiteurs, tout en préservant un coût faible et une facilité d'installation ? ».

1.5 PROBLÉMATIQUES INVESTIGUÉES DANS LA THÈSE

Dans cette thèse, nous tenterons de fournir une solution à fort potentiel à chacune des problématiques énoncées dans la section précédente. Plus spécifiquement, cette thèse s'attaquera aux questions suivantes :

- Comment concevoir un ensemble de capteurs pouvant être déployé facilement dans un habitat, afin de le rendre « intelligent » ?
- Comment faire en sorte que de multiples protocoles puissent être gérés facilement par ce kit, afin de pouvoir ajouter de nouveaux capteurs sans avoir de gros efforts de développement à mettre en oeuvre ?
- Dans le contexte d'habitat intelligent, quelle solution proposée afin d'améliorer l'identification des résidents effectuant des activités afin de les dissocier facilement de leurs visiteurs, tout en préservant un coût faible et une facilité d'installation ?

Cette thèse est également axée autour de 3 publications majeures dans des journaux scientifiques et/ou conférences internationales à fort facteur d'impact :

1. « Reconnaissance très précise des activités de la salle de bain à l'aide de capteurs de proximité infrarouges ». Cet article est publié dans le journal *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* (Chapron *et al.*, 2020).
2. « Évaluation de la vitesse de marche en temps réel directement à domicile, dans un contexte de multi-résidents ». Cet article est publié dans le journal *Springer, Multimedia Tools and Applications* (Chapron *et al.*, 2021a).
3. « Un nouveau dispositif afin de suivre et identifier les personnes dans un contexte multi-résidents ». Cet article est publié dans la conférence internationale *11th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies* (Lapointe *et al.*, 2020).

De plus, la solution proposée pour la gestion du contexte multi-résidents est en continuité directe avec le travail effectué au cours de la maîtrise. Travail qui, cependant, a été amélioré et adapté pour les besoins de cette thèse. Le travail initial peut être retrouvé sous la forme d'un mémoire (Chapron, 2018) et, également, sous la forme d'un article publié dans le journal scientifique *Sensors* : « Un système transportable et évolutif plus efficace pour la reconnaissance des activités et des exercices en temps réel » (Chapron *et al.*, 2018).

1.6 MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

Les travaux de cette thèse essaient de répondre aux trois questions énoncées à la Section 1.5. Avant toute chose, il a fallu effectuer un état de l'art à ce sujet, afin de bien comprendre les avancées actuelles du domaine. Le prochain point consiste en l'élaboration de capteurs intelligents renvoyant de la donnée qualitative. Aussi, comme une des problématiques consistait en la réalisation d'un kit de capteurs facilement installable par quiconque, il convient de les concevoir pour une installation facile et rapide. Ensuite, comme les différents capteurs intelligents peuvent communiquer par le biais de plusieurs protocoles, il est important de créer une infrastructure logicielle capable de favoriser la communication, peu importe le protocole des capteurs intelligents. À cette fin, la méthodologie appliquée s'est découpée en quatre phases distinctes. Les phases impliquant une utilisation matérielle ont été testées avant tout en laboratoire, au Laboratoire d'Intelligence Ambiante pour la Reconnaissance d'Activités (LIARA), puis en milieu réel. Toutes les expérimentations menées ont été approuvées, préalablement, par le Comité d'Éthique de la Recherche de l'UQAC (CER)¹.

La première phase consistait donc à établir un état de l'art sur les différentes technologies utilisées à l'heure actuelle dans le domaine des habitats intelligents. Il permet de se faire une idée sur la quantité de capteurs existants et pouvant potentiellement intégrer le kit de capteurs

1. Projets # 2019-200, # 2019-201, # 2019-220, # 2020-223, voir annexes

final dans le futur, en plus d'avoir une bonne idée des différents protocoles à gérer. Aussi, les différentes méthodes d'identification des résidents, en contexte multi-résidents, ont été recensées afin de positionner nos travaux en identifiant les lacunes de celles-ci.

La deuxième phase consistait en la création du kit en soi. Celui-ci a commencé avec la création de plusieurs ensembles de dispositifs communiquant localement afin de faire transiter les données du capteur brut vers le microcontrôleur associé. À ce niveau, il y a déjà différents protocoles existants, mais ce type de dispositif doit pouvoir être ajouté facilement à l'ensemble final et donc dialoguer avec l'ensemble des autres dispositifs. De ce fait, le kit final doit être capable de gérer de multiples protocoles sans avoir d'accrocs, afin de faciliter l'ajout de nouveaux dispositifs dans le futur.

La troisième phase apportait au kit la gestion du multi-résidents. En effet, le kit total n'est qu'un ensemble de capteurs renvoyant de la donnée qualitative, mais ne gère en aucun cas plusieurs résidents vivant sous le même toit. Pour ce faire, un bracelet connecté a été développé, créant de nouveaux enjeux vis-à-vis de la connectivité et de l'autonomie et créant aussi un panel d'options conséquent pour des améliorations du kit. Cet ajout permet également de modifier l'ensemble des dispositifs déjà conçus afin d'avoir une gestion du contexte multi-résidents performante.

La quatrième et dernière phase consistait à tester le système. En premier lieu, celui-ci a été testé au LIARA, puisqu'il représente un environnement contrôlé très semblable à un appartement. De plus, étant donné qu'il est constitué principalement d'une aire ouverte regroupant chambre, salon, cuisine et salle à manger, les défis représentés ici sont différents de ceux retrouvés dans des appartements plus compartimentés. Ensuite, une fois le système fiable en milieu contrôlé et avec l'accord du CER, nous avons procédé à une expérimentation

en milieu réel, directement dans le domicile de plusieurs personnes afin de vérifier le bon fonctionnement.

1.7 ORGANISATION DU DOCUMENT

Cette thèse se découpe en 9 chapitres. Ce premier chapitre contient une introduction au sujet et explique le fonctionnement de la thèse ainsi que du document. Les chapitres 2 et 3 représentent deux états de l'art, respectivement sur les différentes architectures et les différentes infrastructures retrouvées en habitat intelligent de nos jours. Ensuite, le chapitre 4 introduit les choix réalisés dans cette thèse pour créer le kit de capteurs, qui est d'ailleurs réparti dans les 4 chapitres qui suivent. Ces chapitres concernent respectivement les articles mis en valeur à la Section 1.5, à savoir : ([Chapron *et al.*, 2019](#)), ([Chapron *et al.*, 2021a](#)), ([Lapointe *et al.*, 2020](#)). Enfin, une conclusion générale terminera cette thèse et proposera des pistes pour de potentielles améliorations.

CHAPITRE II

ARCHITECTURE D'UN ENVIRONNEMENT INTELLIGENT

Puisque l'objectif principal de la thèse est de concevoir un kit de capteurs intelligents facilement installable, il convient d'étudier les différents types de capteurs existants. Étant donné la forte variabilité existante dans ce domaine, une partie de la thèse a été consacrée à l'étude de ceux-ci afin d'en connaître les propriétés uniques. De plus, comme le domaine des habitats intelligents est assez prisé depuis les dernières années ([Cook *et al.*, 2009](#); [Debes *et al.*, 2016](#); [Sadri, 2011](#); [Bouchard *et al.*, 2014](#)), il est moins fastidieux de recenser les capteurs les plus utilisés dans les environnements intelligents actuels.

De ce fait, ce chapitre sera divisé en trois parties. Dans un premier temps, les propriétés les plus recherchées dans un capteur intelligent seront établies. On y retrouvera par exemple, le fonctionnement énergétique, la perception ressentie, la facilité d'installation, son rapport qualité/prix ou encore la complexité du capteur. Dans un second temps, une liste non exhaustive des différents types de capteurs existants sur le marché sera donnée. Pour finir, nous discuterons de l'état actuel des différents habitats intelligents existants dans le monde de la recherche afin de confirmer l'utilisation des capteurs définis et l'importance des données fournies.

2.1 PROPRIÉTÉS RECHERCHÉES DANS UN CAPTEUR INTELLIGENT

Former un ensemble de capteurs permettant d'améliorer un habitat pour le rendre « intelligent » nécessite une première étape cruciale : définir les critères de sélection des capteurs, aussi bien du point de vue de l'utilisateur que du système. Dans ce sens, les utilisateurs ont généralement deux a priori majeurs : le rapport qualité/prix ainsi que la perception qu'ils vont en ressentir. Par exemple, est-ce que le capteur devra être remplacé tous les ans ? Est-ce qu'ils

vont se sentir observés quotidiennement ? D'autre part, pour bien s'intégrer à l'ensemble de capteurs, il faut réfléchir sur trois points cruciaux : le fonctionnement énergétique (batterie, branchement, etc.), son installation (nécessite-t-elle un technicien ?) ou encore sa complexité (moyens de communication, type de données renvoyées, etc.).

2.1.1 RAPPORT QUALITÉ/PRIX

Le coût d'un capteur varie en fonction de plusieurs paramètres. En effet, lorsque l'on choisit un capteur, il existe beaucoup de fabricants offrant le même type, lequel choisir lorsqu'ils semblent identiques ? Il faut allier un coût relativement faible avec une robustesse et une fiabilité de capteur décente. Par exemple, si un Capteur infrarouge passif (*PIR*) coûte deux fois plus cher chez un concurrent, mais donne de meilleurs résultats plus stables, c'est un choix à considérer. Évidemment, bien que le capteur peut être plus cher qu'un autre de l'ensemble, un autre facteur va entrer en jeu : la quantité nécessaire. En effet, admettons qu'un capteur observant les activités réalisées dans la salle de bain puisse coûter plus cher qu'un PIR, tout en couvrant une plus grande surface, il en faut bien moins pour couvrir toute l'habitation, résultant alors en un prix moindre.

2.1.2 PERCEPTION RESSENTIE

L'autre point important des utilisateurs : leur perception du capteur. En 2003, les travaux de [Dewsbury et al.](#) ([Dewsbury et al., 2003](#)) ont montré qu'avec le temps, les résidents qui se sentaient observés ou qui trouvaient que leur intimité était envahie finissaient par avoir une qualité de vie inférieure. Ce type de travaux a été confirmé par les études plus récentes de [Zheng et al.](#) ([Zheng et al., 2018](#)). De plus, si le résident souffre d'une maladie cognitive, ceci ne pourra qu'empirer leur état, ce qui rentre complètement en contradiction avec l'objectif

principal qu'est l'aide aux résidents. Par conséquent, il faut choisir les capteurs afin qu'ils n'impactent pas négativement les résidents. Ils doivent également être installés le plus possible à l'abri des regards afin de ne pas créer de gêne quotidienne.

2.1.3 FONCTIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE

Le mode de fonctionnement énergétique d'un capteur est extrêmement important : est-il filaire ou sans-fil ? Évidemment, les capteurs utilisant une alimentation filaire sont moins contraignants en termes de besoins, mais nécessitent absolument un fil visible pour entrer en fonction. De fait, il faut absolument se brancher sur le réseau électrique de l'habitation et donc nécessiter soit une prise proche ou une installation par un technicien. Bien que cette option soit très viable, elle est souvent plus encombrante aussi bien pour l'installation que pour l'utilisation quotidienne.

Plusieurs capteurs ont évolué vers une option sans fil d'alimentation. Bien que cette approche soit très populaire (Liu *et al.*, 2016; Ferdoush & Li, 2014; Kwapisz *et al.*, 2011), elle possède quelques inconvénients. À l'inverse des capteurs filaires, leur installation est bien plus simple puisqu'il nécessite simplement d'être placé et d'être allumé pour fonctionner. En effet, puisque aucune installation électrique n'est nécessaire, il est beaucoup plus simple de l'installer soi-même. Pourtant, il faut qu'il soit alimenté en énergie et doit donc utiliser des batteries. Ici, on trouve deux cas : des batteries jetables (p. ex., piles CR2) ou rechargeables (p. ex., piles Lithium-Ion). Bien entendu, l'école de pensée environnementale très présente ces dernières années préconise l'utilisation de batteries rechargeables. En plus de réduire l'empreinte écologique du résident, cela lui évite d'avoir à acheter des batteries jetables et de devoir les changer. En revanche, l'utilisation de batteries contraint le capteur à avoir une durée

d'utilisation maximum. Pour certains capteurs, on peut parler de plusieurs années² lorsque la quantité d'informations est très faible à plusieurs jours (semaines) pour une utilisation intensive des données collectées (p. ex., calculs, communications, etc.)³, ce qui oblige ainsi l'utilisateur final à devoir entretenir les batteries (ou à avoir quelqu'un pour le faire, le cas échéant).

Pour finir, peu importe le capteur choisi, il est important que les concepteurs prennent en compte la consommation énergétique de leurs dispositifs. En effet, un capteur filaire ne doit pas consommer plus qu'il ne devrait, juste parce que la quantité d'énergie disponible est très grande. En effet, l'utilisateur final préfère probablement avoir une facture d'électricité faible.

2.1.4 INSTALLATION

Dans les tous premiers habitats intelligents, l'installation des différents capteurs était réalisée par des techniciens (Lobaccaro *et al.*, 2016), ce qui augmentait considérablement le coût nécessaire afin de rendre son habitation « intelligente ». Cependant, au fil des ans, beaucoup de chercheurs du domaine se sont dirigés vers une installation plus simplifiée, de telle façon à ce que l'habitant puisse lui-même la réaliser, occasionnant un gain de temps et d'argent (Hu *et al.*, 2016; Cook *et al.*, 2013b).

Toutefois, afin de réaliser l'installation du dispositif seul, il faut absolument qu'il soit très simple : s'il nécessite des travaux de plomberie ou d'électricité, il est malvenu de demander à l'utilisateur final de l'installer lui-même. De ce fait, plusieurs capteurs sont automatiquement écartés, ou moins privilégiés, comme les capteurs de débits d'eau ou d'autres comme ceux s'installant dans des panneaux électriques. Aussi, les différentes propriétés

2. <https://www.fibaro.com/en/products/motion-sensor/>

3. <https://www.fitbit.com/fr-ca/charge4>

énoncées dans les paragraphes précédents jouent un rôle important dans l'installation du dispositif : le fonctionnement énergétique oblige l'utilisateur final à le brancher (ou non), ou à changer régulièrement ses batteries. Dans le cadre d'une utilisation sans fil, le changement (ou rechargement) va aider à l'installation, puisque l'habitant n'aura pas besoin d'installer un câble à travers son habitation du capteur vers une prise électrique. L'apparence du capteur joue un rôle essentielle dans sa conception, puisqu'il sera constamment visible par l'utilisateur. Par conséquent, il faut nécessairement tenter de camoufler le dispositif, ou de lui retirer une quelconque apparence envahissante (capteurs ressemblant à une caméra par exemple).

2.1.5 COMPLEXITÉ

Pour terminer sur cette section, il faut discuter de la plus importante propriété d'un capteur : sa complexité. Avant de continuer, il faut bien différencier deux choses : le capteur matériel et le dispositif intelligent (aussi appelé « capteur intelligent » dans certains cas).

Le capteur matériel est un composé électronique capable de recueillir une information et la conditionner sous forme de signal. Ensuite, pour traiter ce signal afin de pouvoir l'utiliser pour diverses tâches, il faut utiliser un enchaînement d'actions, nécessitant dans la majorité des cas du matériel supplémentaire. Cette suite d'évènements va prendre la donnée du capteur matériel, la transformer depuis le signal brut vers une donnée intelligible numérisée pour pouvoir ensuite l'appliquer dans des algorithmes quelconques. C'est alors l'ensemble réalisant ces tâches qui va être considéré comme un dispositif intelligent.

En 2004, *IEEE* (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a validé une norme définissant un capteur intelligent comme étant un dispositif fournissant des fonctionnalités au-delà de celles nécessaires pour générer une représentation correcte d'une perception ([Mark et al., 2004](#)). Afin de normaliser les implémentations, ils ont proposé une architecture générique

afin que l'ensemble des concepteurs de dispositifs intelligents puisse avoir une base fiable. On peut retrouver cette représentation à la Figure 2.1.

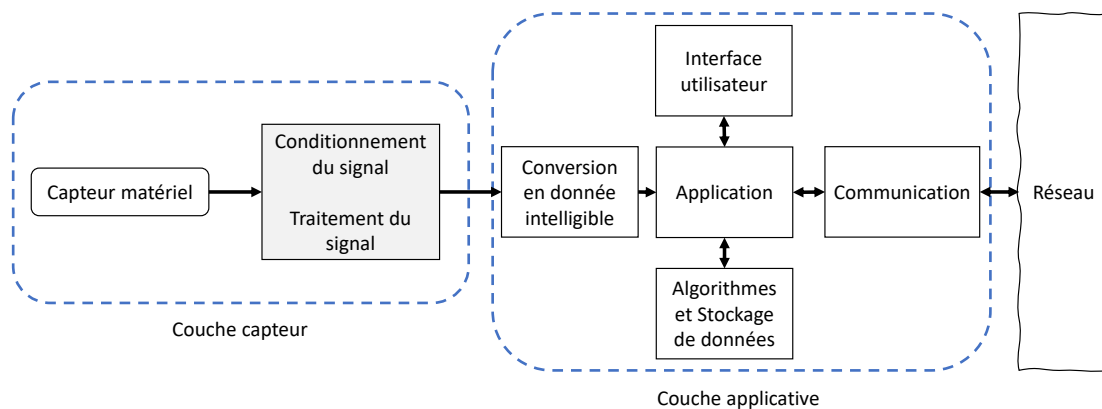


Figure 2.1 : Représentation d'un dispositif intelligent

Dans cette représentation, on retrouve notamment deux blocs importants : la couche capteur ainsi que la couche applicative. Dans la couche capteur, il est question de récupérer la donnée brute via le capteur matériel et de la transformer en donnée numérique, comme un voltage. Cette transformation est quasiment toujours réalisée par le « capteur » provenant du fabricant. Afin de mieux illustrer ce propos, examinons un des produits de Sparkfun, à savoir un *PIR* (Capteur infrarouge passif)⁴. Les sources de leurs produits sont disponibles en Open source, ce qui va faciliter les explications. Le schéma officiel de production est disponible à la Figure 2.2. Bien que ce soit un document purement électronique, deux zones ont été entourées afin d'illustrer les propos aux personnes moins expérimentées du domaine. On peut donc

4. <https://www.sparkfun.com/products/13968>

retrouver le cercle bleu, qui entoure le capteur matériel (*PIR* dans ce cas) ainsi que le rectangle orange, entourant lui une puce électronique capable de transformer les données brutes émanant du *PIR* vers une donnée numérique. On retrouve alors les deux éléments de la couche capteur dans ce schéma. Ensuite, afin de se déplacer vers la couche applicative, il est nécessaire de pouvoir s'y connecter; on peut alors observer toute une section "Connectors" à ce propos dans le même schéma. Ainsi, la couche capteur est terminée et peut être vendue en tant que Capteur infrarouge passif (*PIR*).

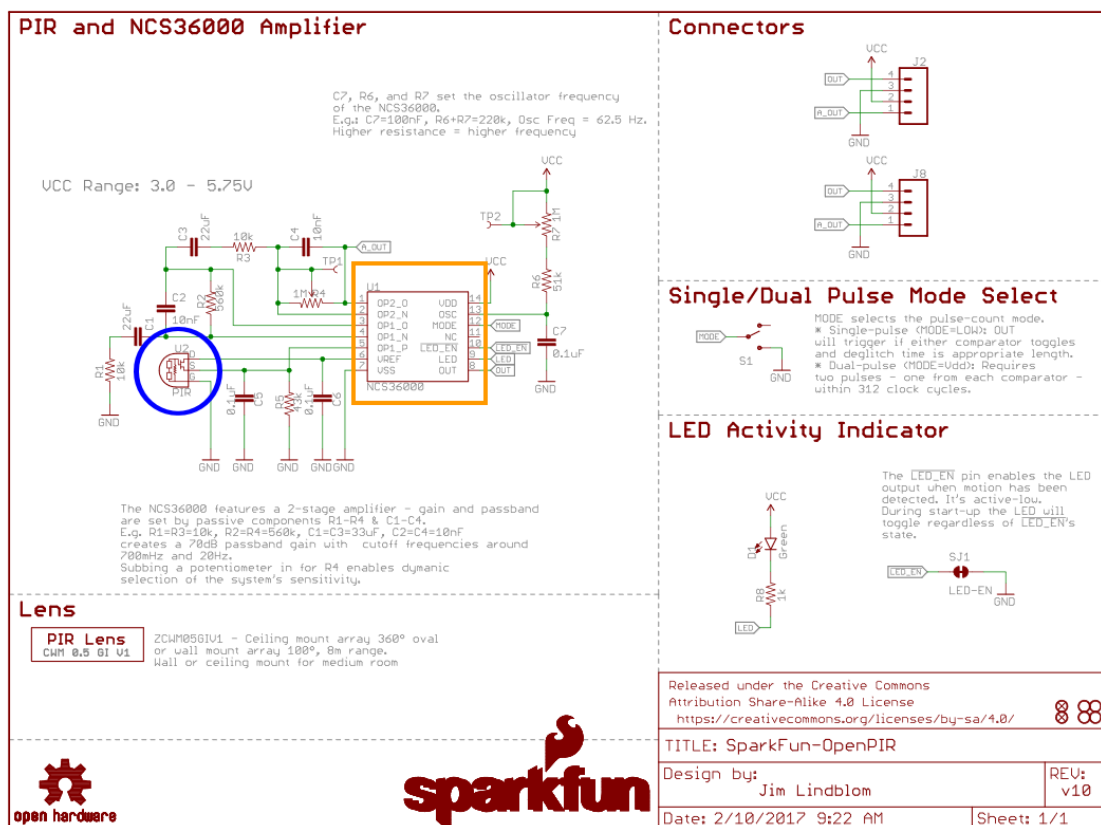


Figure 2.2 : Schéma d'un *PIR* de Sparkfun (Reproduit en vertu de la licence Creative Commons)

Maintenant, il convient de s'intéresser à la seconde partie de la définition de [Mark et al.](#) : quelles sont les fonctionnalités supplémentaires d'un capteur intelligent ? [Lewis \(Lewis,](#)

2004) en a mentionné plusieurs : identifier les capteurs, créer un processus pour faciliter leur installation, autodiagnostiquer en cas de problèmes, définir des protocoles de contrôle, des interfaces réseau et se coordonner et se synchroniser avec d'autres capteurs (Lewis, 2004). Il énonce aussi des objectifs, qui, selon lui, sont les plus importants afin de développer un capteur intelligent performant et adaptatif. Parmi ceux-ci, on retrouve notamment l'interfaçage de plusieurs capteurs de types différents et l'importance de rapprocher le plus possible la couche Intelligence Artificielle de la couche capteur. Ces objectifs sont fortement à considérer dans le cadre de la complexité d'un dispositif intelligent puisque la conception de la couche applicative en dépendra fortement. De plus, lors de la conception d'un habitat intelligent, de nombreux capteurs de tailles, types et fonctionnalités différents seront présents, il est donc important de normaliser l'ensemble.

Toutes ces étapes créent une grande complexité dans la conception d'un dispositif intelligent puisqu'il faut être prêt à s'adapter à n'importe quel protocole de communication ou n'importe quel type de capteur. D'ailleurs, afin de mieux comprendre l'ampleur de cette complexité, il est de convenance de définir les différents types de capteurs existants sur le marché et étant les plus utilisés.

2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE CAPTEURS

Il existe énormément de capteurs différents dans le monde. Cependant, ils peuvent être répartis dans plusieurs catégories qu'il semble important de décrire. Cette liste non exhaustive regroupe la majorité des types de capteurs qui sont habituellement utilisés dans des habitats intelligents.

2.2.1 CAPTEUR INFRAROUGE PASSIF (PIR)

Cette technologie, inventée en 1989 par M. Taniguti et son équipe ([Taniguti et al., 1989](#)) se base sur deux éléments : l'infrarouge et la pyroélectricité. Le capteur est composé de deux bandes pyroélectriques qui se modifient en fonction de la réception de lumière infrarouge. En effet, si une bande détecte un changement de température et que la deuxième détecte le changement contraire, le *PIR* s'active afin d'indiquer un changement d'état en face de lui. Le schéma présenté à la Figure 2.3 illustre ce fonctionnement.

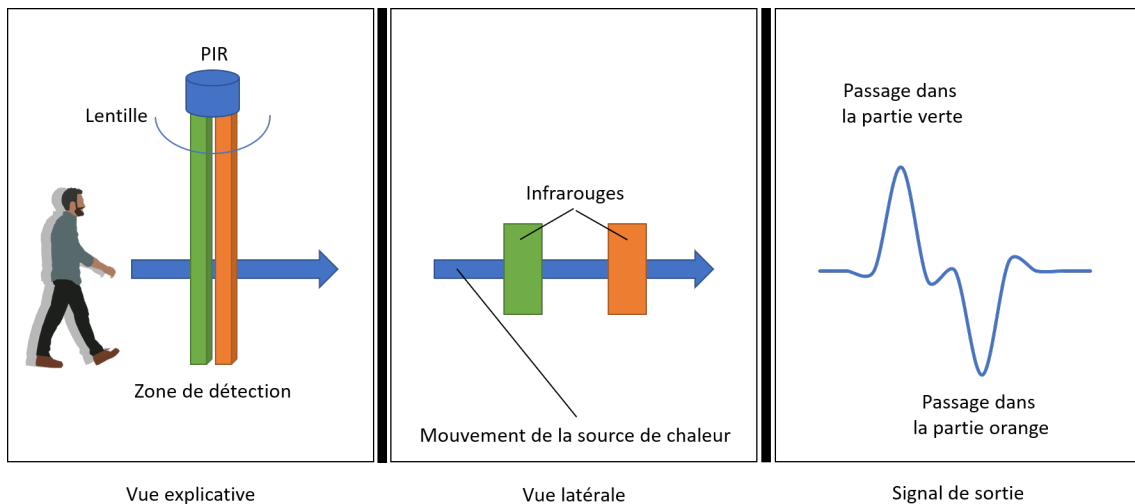


Figure 2.3 : Schéma explicatif du fonctionnement d'un PIR

De ce fait, si une source de chaleur est uniforme et constante sur les deux bandes pyroélectriques, le capteur ne détectera aucun changement. Cependant, le simple fait d'envoyer un rayon infrarouge ne permettait pas d'avoir une assez grande ouverture pour les fabricants de capteurs ; ils ont donc utilisé un autre outil : la lentille de Fresnel. Ces lentilles distordent la lumière entrante afin de la rediriger (voir Figure 2.4).

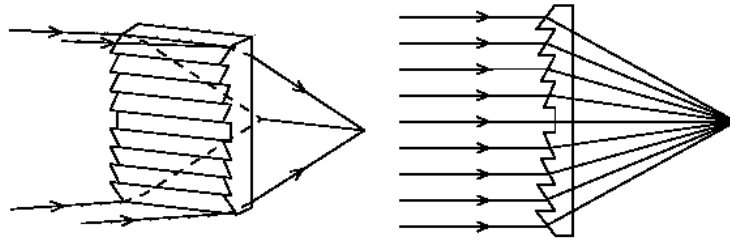


Figure 2.4 : Lentille de Fresnel (*Reproduit en vertu de la licence Creative Commons*)

De plus, afin d'avoir le plus grand angle de détection possible, les fabricants ont créé une lentille de Fresnel multiple (voir Figure 2.5). On peut d'ailleurs y observer les différents anneaux des lentilles de Fresnel. Avec ces lentilles, la quantité de données gérée par le capteur est bien plus grande, permettant alors une utilisation plus prononcée, surtout dans le domaine des habitats intelligents. Dans la majorité des cas d'utilisation, ils sont utilisés comme détecteurs de mouvements dans une pièce.

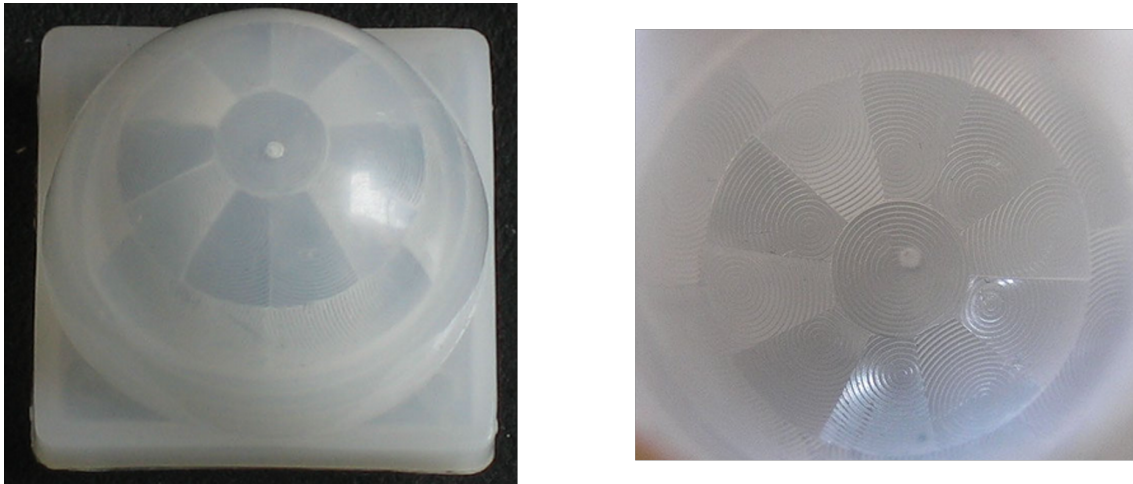


Figure 2.5 : Lentille de Fresnel multiple (*Reproduit en vertu de la licence Creative Commons*)

2.2.2 CAPTEUR DE PROXIMITÉ INFRAROUGE

Similairement au PIR, le Capteur de proximité infrarouge (*IRPS*) utilise la lumière infrarouge afin de détecter des distances. Il possède deux composants étant respectivement l'émetteur de la lumière et le récepteur (Figure 2.6 (a) et (b)). De plus, le rayon de lumière étant envoyée en ligne droite par le capteur, il ne peut pas être influencé par un quelconque mouvement à l'extérieur de sa zone. Évidemment, sa valeur de retour n'est pas une distance mais un voltage qu'il faudra ensuite convertir. En général, les fabricants ne semblent pas fournir d'équation de conversion, mais des conseils pour retrouver les bonnes valeurs avec le capteur. De ce fait, il écarte toute nuisance potentielle dûe à la fabrication en usine. Une manière assez répandue pour déterminer l'équation de conversion consiste à prendre diverses mesures de voltage à diverses distances du capteur pour extraire mathématiquement la fonction de conversion (p. ex., une régression polynomiale).

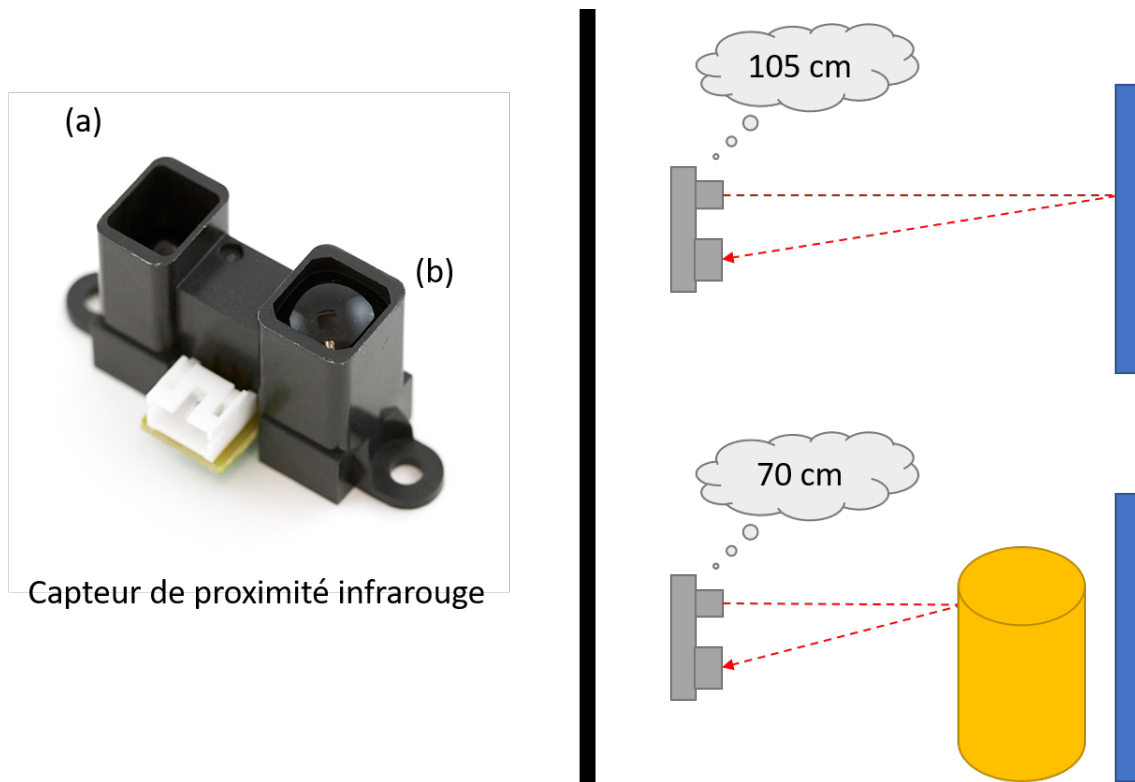


Figure 2.6 : Capteur de proximité infrarouge et schémas

2.2.3 CAPTEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Le deuxième type de capteur étudié ici est le capteur électromagnétique, souvent utilisé pour détecter des ouvertures/fermetures de portes, fenêtres, tiroirs, etc. Malgré le fait qu'il soit très commun, ses propriétés intéressantes le rendent très utilisé. Ce dernier repose sur le magnétisme. Il n'a pas besoin d'électricité pour fonctionner, bien que la communication de son état repose très fréquemment sur un système électrique filaire. De plus, comme son action est mécanique et que les matériaux qui le composent sont résistants, sa durée de vie est très longue (environ 10 millions d'ouvertures/fermetures)⁵.

5. <http://www.stg-germany.de/products/reed-switches>

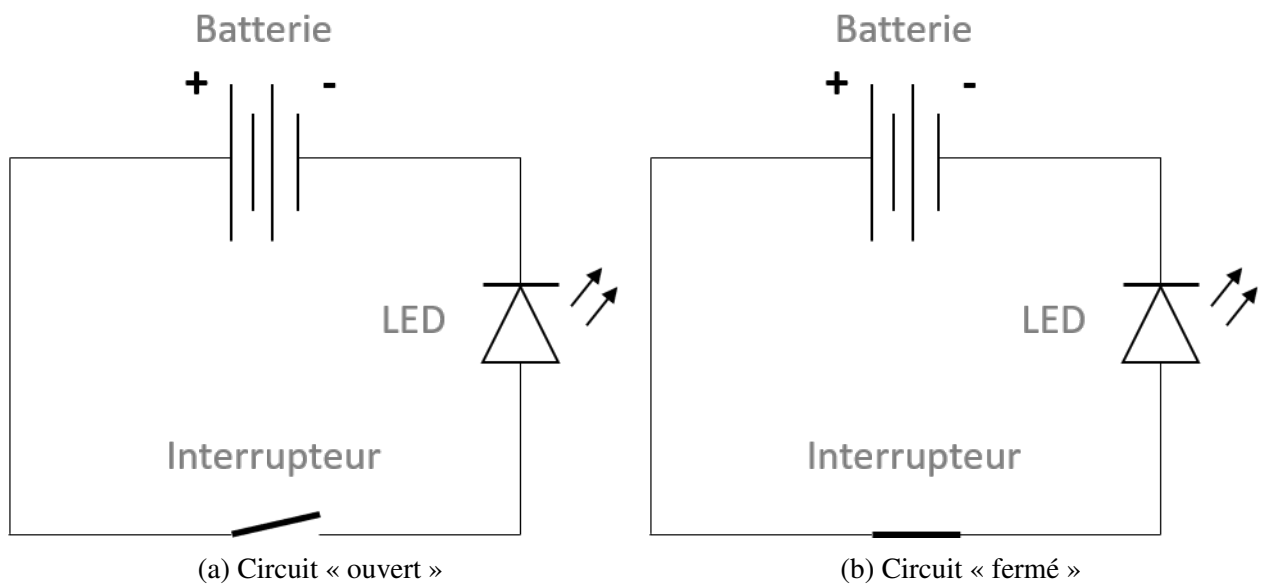


Figure 2.7 : Schéma d'un circuit possédant un interrupteur et une LED

Son fonctionnement est similaire à celui d'un interrupteur dans un circuit électrique. En effet, quand le circuit est fermé, le courant peut passer, mais pas lorsqu'il est ouvert (voir Figure 2.7, la diode électroluminescente (*LED*) est éteinte dans la Figure 2.7a et allumée dans la Figure 2.7b).

Sur ce même principe d'interrupteur, les capteurs électromagnétiques sont composés de deux contacts en métaux conducteurs, souvent isolés dans une capsule ne contenant aucun gaz capable de les oxyder. Dépendamment des types de capteurs, ces deux contacts peuvent créer par défaut un lien ouvert ou fermé (*NO*, *Normalement Ouvert*, ou *NC*, *Normalement Clos*). Ces deux contacts peuvent réagir à une interaction magnétique afin de changer leur état (se fermer pour un *NO* et s'ouvrir pour un *NC*). De ce fait, le capteur doit être composé de deux parties : la première étant celle comportant les contacts et la deuxième étant un aimant les faisant interagir. On peut observer un exemple à la Figure 2.8.

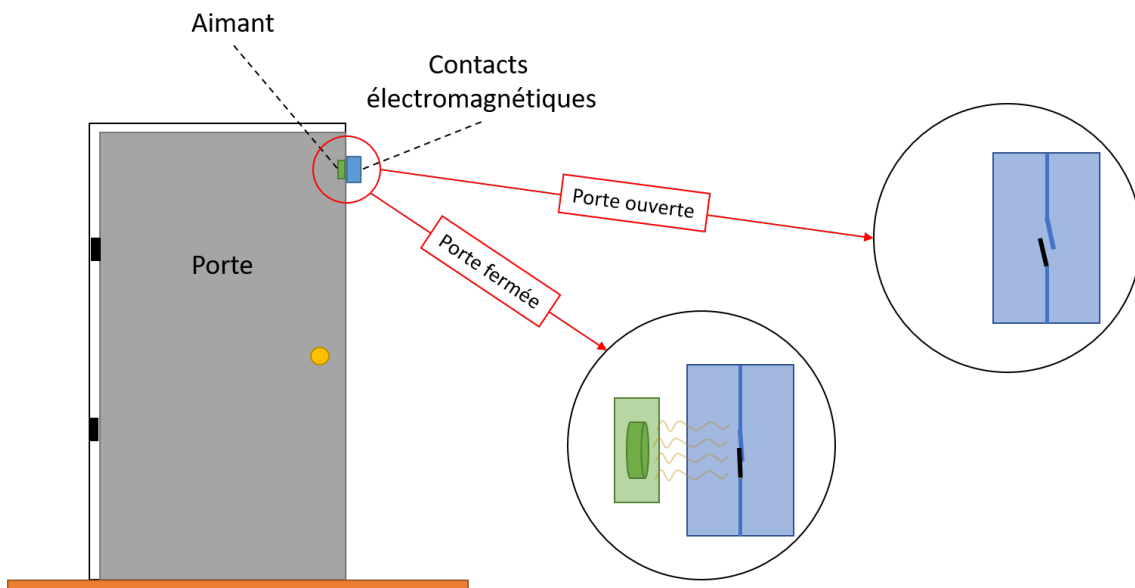


Figure 2.8 : Schéma résumé d'un capteur électromagnétique dit *NO*

Dans ce modèle, on peut voir que le circuit électronique se ferme lorsque la porte est fermée, ce qui permet ainsi au courant de circuler. Cependant, il ne faut pas oublier lors de son implémentation qu'une source de courant doit être utilisée, sous peine de ne jamais avoir de mise à jour de l'état du capteur.

2.2.4 ACCÉLÉROMÈTRE

Le troisième dispositif a vu son utilisation se multiplier considérablement depuis les années 2000 puisque de grandes compagnies se sont mises à les utiliser dans leurs produits (Nintendo, Apple, etc.). Le concept de ce capteur peut être facilement schématisé par une masse et un ressort. En considérant la Figure 2.9, on observe qu'une masse est reliée à un support par un ressort, le tout étant dans un axe bien précis. On peut alors considérer l'état par défaut comme étant l'état neutre, sans accélération. Cependant, si le dispositif subit une accélération verticale, le support va monter et le ressort va se compresser, indiquant alors

qu'une accélération a eu lieu : plus l'accélération sera grande, plus le ressort sera comprimé ; on peut donc déduire la force (en g) de l'accélération.

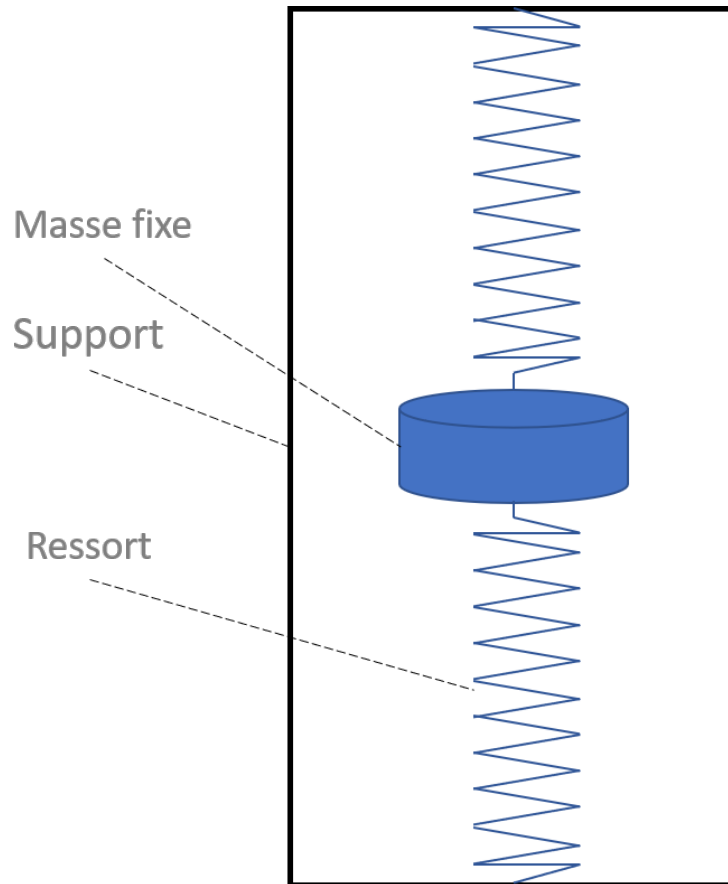


Figure 2.9 : Schéma d'un système masse/ressort illustrant l'utilisation d'un accéléromètre

Évidemment, dans l'exemple indiqué, l'accélération n'est mesurée que sur un seul axe (vertical), mais la grande majorité des dispositifs utilisés dans le monde à l'heure actuelle contient les trois axes possibles (horizontal, vertical, profondeur) pour avoir une centrale inertielle complète. Leur miniaturisation a également permis de les embarquer dans beaucoup de dispositifs, comme les disques durs, les téléphones portables intelligents, dans les voitures (la taille moyenne est d'environ 3 mm^2). En 2019, [Fan et al.](#) ont fait une avancée considérable

dans ce domaine en utilisant du graphène comme conducteur, permettant ainsi de réduire encore la taille pour être finalement de 80µm x 60µm, représentant une réduction de 99,84 % (Fan *et al.*, 2019).

Les utilisations pour ce capteur sont vastes. Dans les disques durs, le capteur permet de détecter une chute et d'arrêter toute opération afin de ne pas provoquer plus de problèmes. Lors de l'utilisation dans une voiture, il permet de détecter un choc important afin de déclencher des coussins gonflables. Ensuite, dans les dispositifs intelligents dits « portatifs », la centrale inertielle permet de récupérer les variations d'accélération sur tous les axes afin de pouvoir en extraire de la donnée complexe qui sera traitée via l'utilisation d'algorithmes d'IA pour inférer les activités réalisées (p. ex., la marche, la course, le fait de monter des escaliers (Chapron *et al.*, 2018) ou même de déterminer sur quel type de sol la personne marche (Thullier *et al.*, 2017)).

2.2.5 CAMÉRAS VIDÉO ET MICROPHONES

Les caméras et microphones sont bien présents dans notre monde depuis plusieurs décennies. Cependant, leurs utilisations ont beaucoup évolué, surtout dans le cadre de l'IoT (Internet of Things) et des habitats intelligents. En effet, leur grande complexité de données leur permet de se classer comme étant les capteurs les plus riches en termes de qualité d'informations. Cependant, bien que cela rende possible le remplacement de plusieurs capteurs par l'un d'eux, nous allons voir qu'ils ne sont pas forcément les bienvenus dans les habitats intelligents.

De plus, ces deux types de capteurs sont offerts dans une vaste gamme de prix et de modèles, permettant de trouver le dispositif le plus adapté à la situation. Cependant, ils sont très invasifs pour la vie privée des habitants et les données qu'ils fournissent nécessitent un

traitement de données très complexe, la puissance de calcul nécessaire à leur analyse est conséquente. Par exemple, reconnaître une balle rouge est un défi assez facilement réalisable, mais qu'en est-il de la reconnaître sous différents angles, luminosités, couleurs ? Tout ceci nécessite l'utilisation d'algorithmes d'IA compliqués (vision par ordinateur, traitement de signal) qui requièrent une puissance de calcul importante, se soldant alors en une plus grande infrastructure, plus compliquée à installer en milieu réel et plus coûteuse. Toutefois, de nombreux travaux utilisent des caméras pour accomplir la reconnaissance avec succès : reconnaissance d'activités ([Giannakopoulos et al., 2008](#)), détection de chutes ([De Miguel et al., 2017](#)) ou encore pour de l'authentification de personnes ([Nimmy et al., 2018](#)).

Pour les microphones, bien qu'ils soient majoritairement utilisés pour leur fonction propre qu'est la captation sonore, on trouve aussi des variantes piézoélectriques, capables de capter les vibrations dans un solide. L'application principale reliée à la captation sonore est l'utilisation de la voix pour donner des instructions à l'environnement ([Lecouteux et al., 2018](#)) et interagir avec. Évidemment, plusieurs produits très connus sont sur le marché pour réaliser ce genre de tâches (Alexa⁶, Google Home⁷, etc.). On peut aussi retrouver d'autres microphones plus précis dans le domaine de la recherche, comme les travaux de [Chen et al.](#), essayant de détecter les activités réalisées par un POI dans la salle de bain ([Chen et al., 2005a](#)).

En fin de compte, malgré de grandes possibilités avec ces capteurs, ils sont souvent rejetés par les habitants, de par l'invasion de la vie privée qu'ils créent.

6. <https://alexa.amazon.ca>

7. https://assistant.google.com/intl/fr_ca/platforms/speakers/

2.2.6 TAPIS DE PRESSION

Dans les habitats intelligents, on retrouve souvent des tapis de pression. Ceux-ci sont constitués de plusieurs jauges de déformation permettant de traduire les déformations exercées sur une pièce en une variation de résistance électrique. Le capteur fonctionne avec une jauge composée d'extensomètres, tous reliés ensemble et placés dans un isolant électrique afin de ne pas avoir de nuisance électrique. Le circuit reliant chacun des extensomètres est relié à deux bornes qui permettent d'analyser la sortie du capteur. On peut observer un schéma d'une jauge de déformation à la Figure 2.10. Par ailleurs, ce capteur n'est sensible que dans un sens. Celui de l'exemple n'est sensible que verticalement (la résistance augmente lors d'une tension et diminue lors d'une compression).

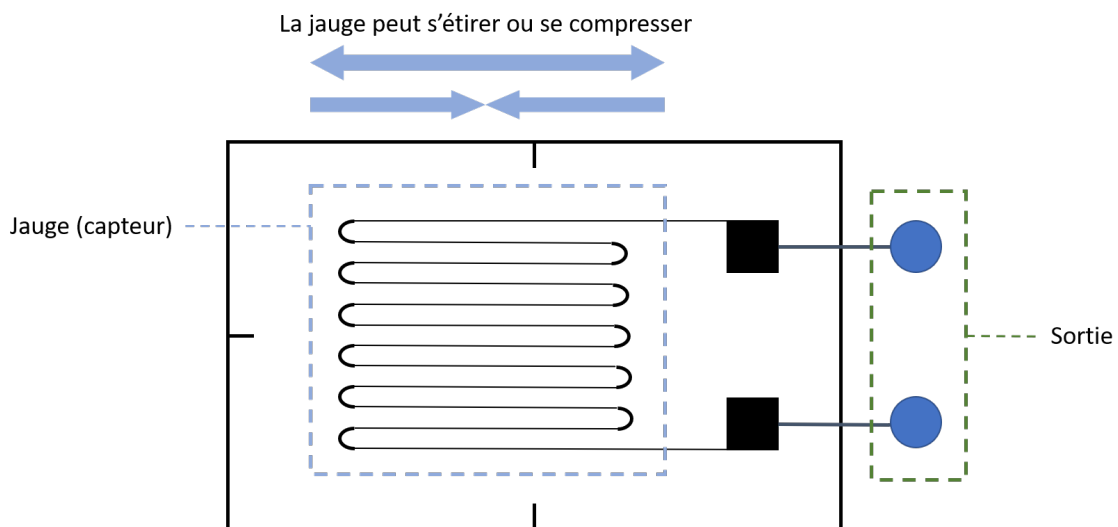


Figure 2.10 : Schéma d'une jauge de déformation

L'intervalle de valeur de résistance de sortie permet de quantifier la force exprimée sur le tapis, celle-ci dépendamment évidemment du poids appliqué. De ce fait, plusieurs applications ont été mises en place. On retrouve souvent la plus basique des applications, à

savoir un tapis de pression standard, capable de savoir si un poids est placé sur celle-ci. Dans le contexte d'habitats intelligents, il est utilisé afin de savoir quand une personne se tient à une place précise (sortie du lit, devant l'évier de la salle de bain (Bouchard *et al.*, 2014)). Aussi, on peut trouver des travaux expérimentant la mesure de la vitesse de marche d'un POI à travers l'environnement (Titianova *et al.*, 2004) ou encore des travaux exprimant la manière de marcher comme étant une information biométrique (Jenkins & Ellis, 2007).

2.2.7 CAPTEUR DE DÉBIT

Il existe plusieurs capteurs de débits différents, mais étant donné que leur fonctionnement est quasi identique, nous présenterons que leur principe de fonctionnement. Le but est donc de mesurer le débit d'un liquide dans un tuyau, sans l'obstruer. Ainsi, nous pouvons schématiser un capteur par un dispositif actionné par le flux de liquide (p. ex. : un engrenage). À la Figure 2.11, on peut observer le tuyau et un engrenage avec un aimant sur chacune de ses branches. De plus, un autre aimant (s'activant avec ceux des branches) est positionné derrière l'engrenage, de manière à correspondre aux autres. De ce fait, lorsque le flux de liquide actionne l'engrenage et le fait tourner, les aimants s'activent à chaque passage d'une branche sur l'aimant et permet ainsi de mesurer le temps entre deux passages. Ce temps permet alors de mesurer une vitesse, qui sera directement reliée au débit d'eau dans la tuyauterie.

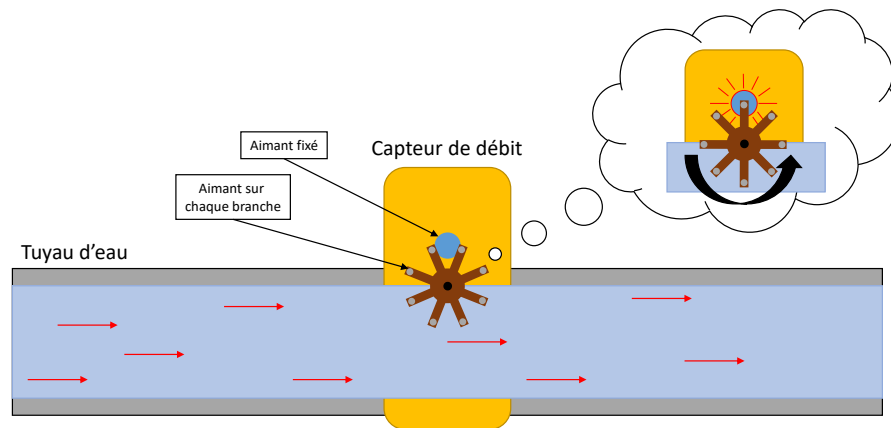


Figure 2.11 : Schéma d'un capteur de débit de liquide

Ce type de capteur est moins souvent utilisé puisqu'il nécessite quelques travaux de plomberie. En effet, les capteurs de débit standards se fixent sur la tuyauterie. Cela nécessite donc de démonter certains tuyaux afin d'installer le dispositif (observable dans la Figure 2.12). Comme ce type d'installation n'est pas forcément à la portée de tous, elle peut engendrer des frais supplémentaires, rendant alors le résident réfractaire à son installation. Cependant, quand son installation est faite lors de la construction initiale de la plomberie, il permet d'avoir des données de bonne qualité et de reconnaître plusieurs activités ([Ranasinghe et al., 2016](#)). Des chercheurs ont essayé de remplacer ce type de capteurs par des microphones de contact afin de retirer les problèmes que créaient la plomberie nécessaire ([Fogarty et al., 2006](#)). Ces travaux permettaient d'avoir une installation facile, tout en ayant des taux de reconnaissance corrects. Cependant, le type d'information retourné n'est pas identique, puisqu'il consiste en une évaluation du son comparé à un débit d'eau. Les analyses nécessaires pour inférer des actions sont différentes, mais donnent toutes deux de bons résultats.

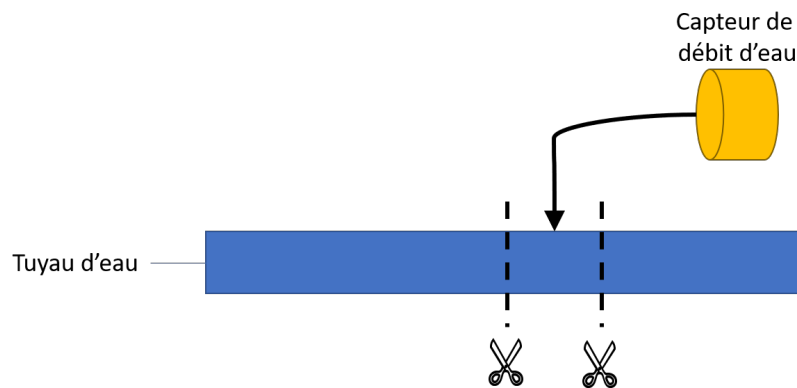


Figure 2.12 : Schéma de l'installation d'un capteur de débit

2.2.8 ULTRASONS

Les capteurs à ultrasons ont un fonctionnement similaire à celui des capteurs à infrarouges. Évidemment, le capteur envoie un cône d'ultrasons à la place d'un cône de lumière infrarouge. Une fois l'onde sonore envoyée, celle-ci va être réfléchiée par chacune des surfaces touchées, ce qui va permettre au capteur d'estimer la distance sur chacune des surfaces. De ce fait, on obtient des valeurs de distance pour chaque ultrason envoyé, que l'on peut imaginer comme étant un cercle en noir et blanc nuancé (voir Figure 2.13).

Cependant, bien que son information est grande, le temps nécessaire pour recréer la grille de valeurs est assez long. De ce fait, le résultat obtenu n'est souvent plus identique à l'information présente en temps réel, créant alors un délai dans l'information générée. Ainsi, beaucoup de capteurs ont été modifiés pour ne retourner que la distance de la première surface rencontrée, peu importe sa position. De nombreuses études utilisent ce procédé en habitat intelligent afin de faire de la biométrie ([Srinivasan et al., 2010](#)) ou de la mesure de distance ([Debes et al., 2016](#)). Toutefois, des applications basées sur son utilisation complète existent et

encouragent à son utilisation. On peut trouver, par exemple, la localisation intérieur (Qi & Liu, 2017) ou l'identification de POI (Mokhtari *et al.*, 2017c).

Il existe également de nombreuses autres applications qui ne seront pas détaillées ici, puisqu'elles relèvent d'un domaine complètement hors de celui des habitats intelligents (médecine, voiture, etc.).

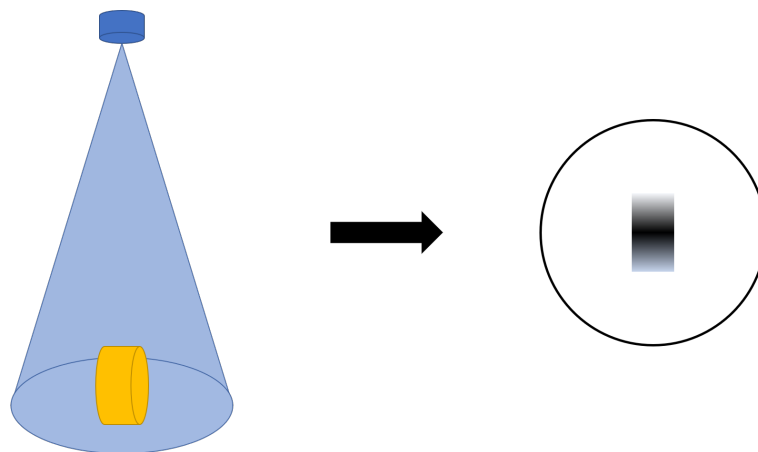


Figure 2.13 : Schéma du procédé d'un capteur à ultrasons

2.2.9 RFID

L'identification par radiofréquence (RFID) est très populaire dans les habitats intelligents : elle permet la traçabilité des personnes ou des objets au sein d'un environnement. Son fonctionnement est basé sur un lecteur, qui va envoyer une onde électromagnétique afin de récupérer de la donnée des différentes étiquettes qui lui sont reliées. Les données qui lui sont renvoyées sont essentiellement composées d'un ID (représentant alors son porteur) et d'une force de signal, indispensable pour pouvoir le localiser. Ces étiquettes sont généralement placées sur les objets que l'on veut suivre dans l'environnement (animal, objet, parfois même un humain avec une étiquette sous-cutanée (Werber & Žnidaršič, 2015)) et se retrouvent sous

deux catégories possibles : les étiquettes actives et les étiquettes passives. Les différences entre ces deux catégories sont nombreuses, mais dans un contexte d’habitat intelligent, elles se résument dans le Tableau 2.1.

Une fois la catégorie d’étiquette choisie, il faut en placer la quantité voulue afin de pouvoir suivre correctement les déplacements au sein de l’environnement. De plus, il faut placer un nombre d’antennes et de lecteurs suffisant pour pouvoir positionner précisément les objets. De ce fait, le coût engendré par une installation RFID peut devenir élevé assez rapidement (Plantevin *et al.*, 2019). Cependant, bien que ce type de système peut être assez coûteux, les applications permettent de réaliser du suivi de qualité, que ce soit pour des objets (Logan *et al.*, 2007; Fortin-Simard *et al.*, 2012), des animaux (Catarinucci *et al.*, 2014) ou encore les POI (Kim *et al.*, 2013). D’autres équipes ont continué dans le domaine du suivi des objets afin de pouvoir appliquer des algorithmes d’IA et enfin effectuer de la reconnaissance d’activités (Fortin-Simard *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2011).

| Caractéristique | Étiquette active | Étiquette passive |
|----------------------|--|---|
| Fréquence | 433 MHz / 2,45 GHz | 860 - 960 MHz |
| Distance de lecture | 150 mètres | 15 mètres |
| Coût | 25-65 \$ | 0,10 \$ |
| Taille approximative | 7 cm x 2 cm x 0,635 cm | 7 cm x 1 cm x 0,001 cm ⁸ |
| Énergie | Batterie interne | Aucune batterie |
| Points faibles | <ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie des batteries de 3-5 ans ne pouvant généralement pas être changées • Le lecteur est moins cher | <ul style="list-style-type: none"> • Moins efficace proche d’eau ou de métal • Le lecteur est plus cher |

Tableau 2.1 : Différences entre les étiquettes RFID « actives » et « passives »

8. Les plus petits atteignent un cercle de 3 cm de diamètre sur 2-3 mm d’épaisseur.

2.2.10 CAPTEUR ÉNERGÉTIQUE

La dernière catégorie de capteurs rencontrés est celle des capteurs énergétiques. Dans celle-ci, on peut distinguer deux types de capteurs : les prises intelligentes et les dispositifs installés sur les panneaux électriques. Ils ont tous les deux la même fonction, à savoir de détecter la quantité d'énergie prélevée à un certain point, mais leur installation diffère ; la prise intelligente est facile à installer pour un néophyte, tandis que les dispositifs à fixer aux panneaux électriques requièrent, pour la plupart, une installation par un électricien professionnel.

Les applications de ce type de capteurs se divisent en trois catégories. La première est un lien avec la gestion de l'énergie, afin de pouvoir déterminer quels sont les appareils qui consomment le plus dans l'environnement ([Zipperer et al., 2013](#)). Ceci va donc permettre de donner à l'utilisateur des conseils afin de réduire sa consommation énergétique et ainsi diminuer son empreinte écologique et/ou financière. Avec des analyses plus poussées, on peut extraire le comportement de l'utilisateur afin de l'aider à réduire l'énergie qu'il dépense de façon inutile ([Maitre et al., 2019](#); [Schweizer et al., 2015](#)).

On retrouve aussi plusieurs études portant sur l'utilisation des données extraites à partir ces capteurs pour effectuer de la reconnaissance d'activités ([Zhang & Sawchuk, 2012](#)) via la détection, en temps réel, des ouvertures et fermetures des appareils électriques présents dans l'habitat. Évidemment, les traitements de données nécessaires pour accomplir de telles détections sont complexes ([Belley et al., 2015](#); [Maitre et al., 2019](#)).

2.3 MILIEUX EXISTANTS

Dans la dernière décennie, beaucoup d'équipes ont construit leur habitat intelligent ([Bouchard et al., 2014](#); [Hu et al., 2016](#); [Giroux et al., 2009](#)). Cependant, le manque de standards a impliqué que chacune des équipes a appliqué les principes énoncés dans la Section 2.1 à leur

façon, créant alors différents types d'infrastructures. Celles-ci vont être décrites dans les trois prochaines sous-sections. La première concernera l'analyse des architectures industrielles, représentées ici par celles du LIARA (Bouchard *et al.*, 2014) et du DOMUS (Giroux *et al.*, 2009). La seconde sera dédiée aux architectures orientées service, dont le représentant sera Gator Tech (Helal *et al.*, 2005). La dernière partie présentera l'infrastructure de la « Smart-Home in a Box », qui a été un précurseur du domaine des habitats intelligents en boîte (Cook *et al.*, 2013b).

2.3.1 ARCHITECTURE INDUSTRIELLE : LIARA & DOMUS

Alors que les habitats intelligents n'étaient encore que très peu développés, des groupes de recherche ont créé leur propre environnement, en se basant sur les technologies et le matériel industriel. Parmi celles-ci, on peut retrouver notamment les équipes du LIARA (Bouchard *et al.*, 2014) et du DOMUS (Giroux *et al.*, 2009), sur lesquelles nous allons nous concentrer. Puisque tous ces habitats intelligents ont une architecture très semblable, une analyse de deux environnements spécifiques va permettre d'avoir une bonne vue d'ensemble de cette catégorie.

Ces deux équipes de recherche ont construit leur habitat intelligent dans un but précis : étudier comment les environnements intelligents pourraient assister les personnes âgées avec des déficiences cognitives (p. ex., Maladie d'Alzheimer). L'architecture choisie, inspirée du monde industriel, repose sur un serveur principal, contenant toutes les données émanant des capteurs. Ceux-ci sont répartis dans plusieurs îlots, permettant d'associer un capteur à un îlot bien précis : si un problème apparaît parmi eux, seuls ceux qui y étaient associés seront impactés. Un automate industriel permet la liaison entre chacun des îlots et le serveur, ajoutant alors continuellement les données dans une base de données SQL Server. À partir de ce stockage, diverses options sont alors disponibles afin d'utiliser ces données. Nous pouvons

créer des interfaces graphiques, des applications permettant d'effectuer des algorithmes d'IA, etc. L'infrastructure est résumée à la Figure 2.14.

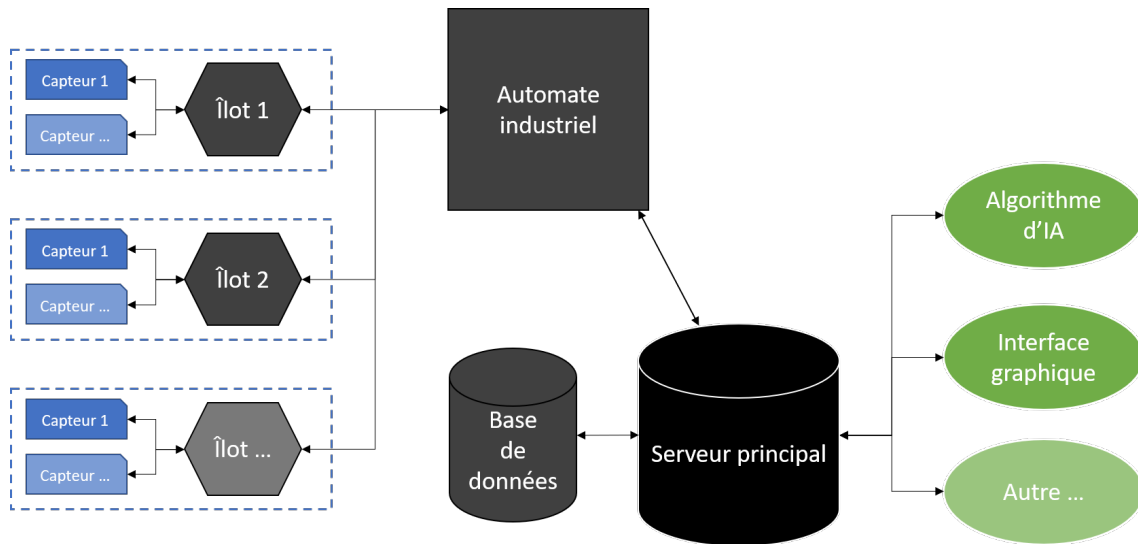


Figure 2.14 : Schéma d'une infrastructure d'habitat intelligent industriel

Utiliser du matériel industriel, comme ces équipes l'ont fait, possède de nombreux avantages. Tout d'abord, comme le matériel est utilisé dans l'industrie, il a été testé lourdement afin de répondre à une charge constante de travail (utilisation en continu pour des usines automatisées), ce qui demande une responsabilité bien plus importante que celles que l'on peut trouver dans un habitat intelligent. Ensuite, les données sont facilement accessibles lors de la création de nouvelles applications, puisqu'elles sont toutes disponibles sur le serveur central de l'habitat. De ce fait, la création de nouveaux algorithmes utilisant l'IA par exemple, serait très simplifiée, que ce soit en termes de développement ou de déploiement.

Cependant, bien que ce type de matériel soit très robuste, il possède aussi un inconvénient majeur : son coût. En effet, les composantes sont destinées à l'industrie. Le prix moyen d'un îlot est de 2 500 \$ (Advantech, 2020). Plusieurs îlots sont nécessaires pour pouvoir

disposer d'assez de capteurs (quatre étant une bonne moyenne). Aussi, l'automate ([Advantech, 2020](#)) est également cher, à un prix de 1 500 \$. Pour finir, un serveur pour gérer ce type d'infrastructure va se détailler à environ 5 000 \$ ([Dell, 2020](#)). Cette liste résulte en un total d'environ 18 000 \$, juste pour avoir une infrastructure fiable d'habitat intelligent, mais sans aucun capteur ni soutien pour l'environnement (réseautique, main d'oeuvre, batteries de secours, etc.). Considérant que la clientèle principale de ce type d'habitat est une population de personnes âgées et/ou en perte d'autonomie et leur condition financière étant précaire ([Alzheimer's Association, 2020](#)), l'investissement nécessaire à la création d'un tel habitat devient démesuré. De plus, ce type d'infrastructure est souvent très complexe à faire évoluer; le fonctionnement des îlots ainsi que le SQL Server oblige l'utilisateur qui désire ajouter des capteurs à le faire manuellement. De plus, comme les îlots gèrent les capteurs, l'ajout de nouveaux capteurs sans fils (WiFi, ZigBee, Bluetooth) devient extrêmement complexe.

2.3.2 ARCHITECTURE ORIENTÉE SERVICE : GATOR TECH

Alors que des équipes s'inspiraient de l'industrie pour créer leur habitat intelligent, d'autres ont tenté de faire une infrastructure évolutive. Pour ce faire, ils se sont basés sur « Open Services Gateway initiative (OSGI) »([Helal et al., 2005](#); [Lin et al., 2008](#); [Novák & Binas, 2011](#)). Nous allons ici nous concentrer sur l'infrastructure GatorTech ([Helal et al., 2005](#)).

Les équipes originales voulaient créer un habitat intelligent avec un objectif simple : prouver qu'une maison intelligente pouvait être établie à coût faible et avec une évolutivité facile. En effet, ils voulaient pouvoir ajouter dans leur système des capteurs de façon très simple, sans avoir à paramétrer manuellement chaque caractéristique de l'ajout. Pour ce

faire, ils se sont servis de OSGI⁹. Dans leur infrastructure, chaque capteur intelligent doit s'enregistrer dans le système, de manière autonome. Ils possèdent tous une mémoire fixe ainsi qu'un code exécutable de pilote afin de gérer la communication avec le système. Une fois démarré, chaque capteur/effecteur s'identifie auprès d'une définition de service OSGI via son pilote, définition qui servira ensuite de couche d'abstraction pour les développeurs. Cette couche permet de créer des services basiques, en consommant des données fortement abstraites ou en combinant plusieurs services de base en service composé (tel qu'illustré à la Figure 2.15). Par exemple, si un service est relié à la salle de bain et qu'un capteur de débit est présent dans la baignoire, au lieu de renvoyer « 0,2 L/s », il renverra « se remplit ». Cette couche d'abstraction va permettre aux développeurs de créer des programmes d'IA avec les données émises, sans avoir à gérer les données brutes émises par les capteurs (qui peuvent changer d'une marque à l'autre, en termes d'intervalle, de précision, de représentation, etc.).

9. <https://www.osgi.org/>

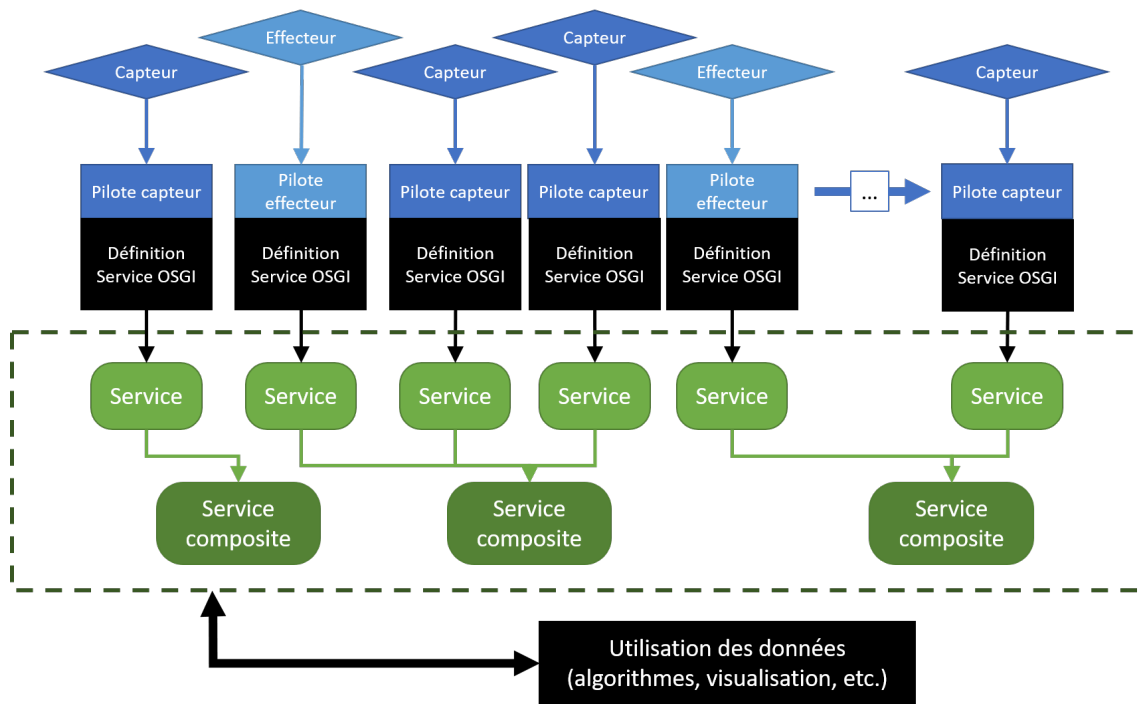


Figure 2.15 : Schéma représentant une architecture OSGI

Ces infrastructures ont des avantages importants. Le premier est l'ajout simplifié de capteurs et/ou effecteurs, permettant alors de mettre à jour l'habitat ou de l'améliorer (ajouter des capteurs ou remplacer certains). Ensuite, la haute abstraction des données permet de faciliter grandement la tâche des développeurs, puisqu'ils n'ont plus besoin de se soucier des formats du type de données. Ils peuvent donc créer des intelligences de haut niveau afin de détecter des évènements (IA) ou d'assister les POI dans leurs activités. En effet, utiliser des termes abstraits plutôt que de la donnée brute simplifie grandement le raisonnement (le POI veut remplir la baignoire, mais oublie l'eau qui coule. Le capteur renvoie "se remplit" depuis trop longtemps, l'habitat peut alors couper lui-même le robinet). Lorsque l'on développe avec les données brutes, l'analyse de celles-ci peut compliquer la tâche grandement. Par exemple, si le capteur de débit nous renvoie 962, il est plus compliqué de savoir que la baignoire est en train de se remplir. Enfin, le prix de l'habitat est grandement réduit vis-à-vis d'autres infrastructures comme celles décrites précédemment (voir Section 2.3.1). Selon [Helal et al.](#), le coût est

majoritairement celui du serveur, puisque les capteurs sont composés de microcontrôleurs à faible coût (Helal *et al.*, 2005; Drumea *et al.*, 2005).

Cependant, bien que les capteurs présentent beaucoup d'avantages, plusieurs d'entre eux auraient de la difficulté à être intégré, puisqu'ils devraient remplacer du matériel de l'habitant. Par exemple, Helal *et al.* utilisent un plancher intelligent capable de détecter où l'utilisateur se trouve, mais celui-ci doit recouvrir l'intégralité de la zone. Ceci va alors nécessiter de la découpe dans la majorité des cas et recouvrira le sol de l'habitant, qui pourrait y être réfractaire. De plus, on y retrouve un miroir intelligent dans la salle de bain, qui devra encore une fois remplacer celui déjà présent. Sans entrer dans plus de détails, il en va de même pour le four à micro-ondes, une porte d'entrée, une boîte aux lettres. Pour finir, les auteurs précisent que l'installation de leur kit nécessite pour l'instant un technicien, puisque certains composants ont besoin d'une mise en place particulière (Helal *et al.*, 2005).

2.3.3 «SMART HOME IN A BOX » : CASAS

Depuis plusieurs années, l'équipe de Cook *et al.* (Cook *et al.*, 2013b; Hu *et al.*, 2016) a mis sur pieds un concept de « Smart Home in a Box » (Habitat intelligent en boîte). L'émergence de normes permettant la communication sans fil à coût en énergie très faible (IEEE-802,15,4) leur a donné la possibilité de réaliser un tel défi. Bien entendu, d'autres équipes ont réalisé ce type d'infrastructures (Barker *et al.*, 2012; Su, 2016; Zou *et al.*, 2011), mais celle de CASAS (Hu *et al.*, 2016) reste la plus connue.

Dans les derniers types d'infrastructures observées dans les Sections 2.3.1 et 2.3.2, nous avons vu que les accents avaient été respectivement mis sur la robustesse du système et de ses composants, et sur la possibilité d'évolution. Ici, le principe d'habitat intelligent en boîte veut mettre l'emphasis sur le prix et la facilité d'installation. Pour ce faire, il fallait que les

capteurs soient le plus indépendant possible et aient le moins besoin possible d'interagir avec l'utilisateur lors de son installation ou de sa maintenance. Ainsi, la technologie ZigBee¹⁰ a été adoptée dans les installations puisque les capteurs en étant issus peuvent fonctionner sur de très longues durées sur leur batterie (plusieurs années). De plus, ce type de réseau sans fil est de type *mesh* (Raniwala & Tzi-cker Chiueh, 2005). Celui-ci permet de ne pas avoir d'intermédiaire autre que les capteurs intelligents eux-même. En fait, ils communiquent les données entre eux afin de les partager jusqu'à ce que le bon l'ait reçu. Le réseau va alors convertir les données brutes des capteurs en messages formatés, permettant ainsi à des applications de plus haut niveau de se baser sur un certain standard. De plus, le service de messagerie fonctionne sur le concept de « publish/subscribe » de manière similaire à MQTT (MQTT, 2015), ce qui rend la tâche du développeur bien plus facile. Initialement, deux applications sont présentes. La première est une application permettant d'enregistrer tout ce qui se passe dans l'environnement dans une base de données. Ici, contrairement à l'infrastructure de la Section 2.3.1, la base de données est plutôt présente à titre d'historique plutôt que de données utilitaires. La seconde application est l'Intelligence Artificielle de leur habitat intelligent, se décomposant en trois composants étant toujours actifs : la découverte d'activités, la reconnaissance des activités découvertes et la surveillance énergétique. Le schéma de la Figure 2.16 résume le fonctionnement de cette infrastructure.

10. <https://zigbeealliance.org/fr/>

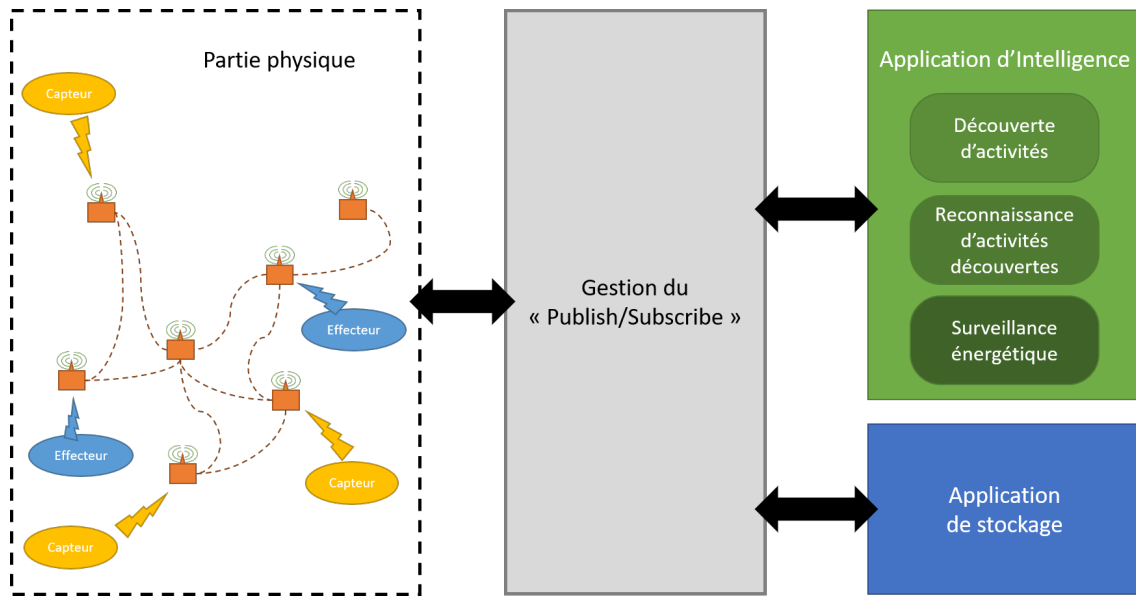


Figure 2.16 : Schéma représentant l'architecture de CASAS (Cook et al., 2013b)

Comme il était possible de s'y attendre, les deux grands atouts de ce type d'infrastructures sont : le faible prix et l'installation très facile. Selon Cook et al., le prix de leur habitat intelligent au complet serait de 3 600 \$, ce qui n'est pas à négliger lorsque d'autres types peuvent dépasser 17 000 \$ en se reposant sur d'autres technologies. De plus, ils ont réalisé une expérimentation afin de vérifier que l'installation de leur infrastructure était simple. Sur les 20 personnes (âgés de 21 à 62 ans) qui ont participé, le temps moyen par participant était d'une heure, montrant parfaitement à quel point l'installation d'un tel équipement est simple. Cependant, bien que l'infrastructure ait beaucoup de bons points, l'ajout de nouveaux capteurs et/ou effecteurs qui n'auraient pas la technologie ZigBee serait pratiquement impossible.

2.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons examiné en premier lieu, les propriétés recherchées dans un capteur intelligent. Puis, nous avons réalisé un état de l'art sur les différents capteurs

utilisés dans le domaine des habitats intelligents. Enfin, nous avons effectué une analyse des différentes infrastructures existantes dans le monde de la recherche.

Tout d'abord, nous pouvons conclure qu'avant d'intégrer un capteur dans l'environnement, il faut s'assurer que l'utilisateur final ne sera pas gêné par ce dernier. Dans le cas contraire, l'utilisateur pourrait modifier son comportement (volontairement ou non) et ainsi fausser complètement les informations extraites en lien avec ses Activités de la vie quotidienne. Ensuite, le rapport qualité/prix, le fonctionnement énergétique et la facilité d'installation sont très liés puisqu'un capteur sur batterie sera bien plus facile à installer qu'un autre devant être branché à une prise électrique, mais coûtera parfois plus cher. Il faut, par conséquent, réussir à trouver un bon compromis parmi ces trois caractéristiques. Enfin, la complexité des données émises par le capteur est un critère primordial. En effet, une trop grande complexité de données va être plus difficile à gérer et demandera plus de puissance de calcul. En fait, comme un tel capteur possède habituellement une richesse d'informations bien supérieure, il pourrait remplacer plusieurs petits capteurs. Dans ce cas, c'est un choix compliqué de composer un kit de capteurs intelligents tout en gardant un équilibre entre les trois caractéristiques mises de l'avant dans ce chapitre.

En deuxième lieu, il y a des capteurs bien plus utilisés que d'autres parmi l'ensemble de ceux étudiés. Parmi eux, on peut notamment citer les PIR et les capteurs électromagnétiques, qui se retrouvent quasiment toujours dans les habitats intelligents. On peut parfois trouver également des capteurs à ultrasons et de proximité à infrarouge pour de la mesure de distance. Cependant, on ne retrouve les accéléromètres quasiment que dans le domaine des dispositifs portatifs, qui n'est pas forcément relié à celui des habitats intelligents, mais qui seraient intéressants à exploiter dans ceux-ci. Quant aux caméras et aux microphones, ils sont moins bien acceptés socialement, puisque très invasifs, malgré leur grande complexité de données qui permet de remplacer beaucoup de capteurs. Aussi, ils nécessitent des algorithmes d'IA qui

requièrent plus de puissance de calcul. Ensuite, on peut regrouper trois capteurs ensemble, à savoir les capteurs énergétiques, de débit d'eau et les tapis de pression. Les données qu'ils génèrent donnent beaucoup d'informations sur l'utilisation de l'habitat, mais dans la majorité des cas, ces dispositifs doivent être installés au moment de la construction de l'habitat. De ce fait, puisque nous travaillons avec des personnes âgées qui ont souvent leur habitation, ce serait très complexe d'intégrer ces capteurs. Ainsi, les ajouter au sein d'un kit de capteurs facilement installable chez une personne serait contraire au principe même de celui-ci. Le dernier type de capteur observé était les étiquettes RFID. Ces dernières fournissent des informations très intéressantes, mais le prix nécessaire pour avoir une telle technologie devient très vite conséquent. Dans notre cas, ce type de dispositifs sera alors écarté. En somme, les capteurs pouvant être incorporés dans un kit comme on le souhaiterait sont : les capteurs à infrarouges (PIR et de proximité), à ultrasons, les accéléromètres, les capteurs électromagnétiques ou encore des prises électriques intelligentes.

En dernier lieu, nous avons analysé trois types d'infrastructures, étant respectivement, les habitats intelligents basés sur le milieu industriel, orienté service ou encore les kits de capteurs déployables facilement. Ces trois approches ont chacune leurs qualités et leurs défauts, mais on peut observer des points communs parmi ces différentes infrastructures. Le premier constat est qu'en intégrant de l'intelligence directement dans le capteur, il est possible de réduire les coûts, puisque le serveur central s'en retrouve soulagé (Sections 2.3.2 et 2.3.3). Aussi, l'évolutivité de l'infrastructure est primordiale, puisque le domaine des habitats intelligents est en pleine expansion, créant alors de nouveaux capteurs chaque année qui devront pouvoir être intégrés. L'infrastructure idéale serait donc composée d'une multitude de capteurs, reliés par différents protocoles (Wi-Fi, Bluetooth, BLE, ZigBee, etc.). Il est aussi impératif, afin de simplifier le développement et l'évolutivité que chacun possède une couche minimale d'intelligence, permettant alors de ne pas devoir gérer les données brutes, mais des

données déjà pré-analysées. De ce fait, cela se rapproche fortement du concept de l'Internet of Things (IoT) ([Atzori et al., 2010](#)), déjà bien implanté dans le domaine des habitats intelligents ([Ghayvat et al., 2015](#)). On parle alors de plusieurs objets intelligents, communiquant de façon uniforme pour échanger leur donnée.

CHAPITRE III

INFRASTRUCTURES

Lorsque l'on parle de plusieurs capteurs qui communiquent dans un espace, on voit plusieurs choses s'entremêler : l'approche utilisée, les protocoles de communication et le traitement des données initiales. En effet, des approches différentes existent afin de rassembler les données ou de les répartir dans l'environnement, on parle alors d'architecture centralisée ou distribuée. De plus, peu importe l'architecture choisie, les différents capteurs doivent, en fonction de leur type, interpréter les données qu'ils récupèrent (données brutes vers une donnée plus intelligible) et ensuite les communiquer aux autres dispositifs via différents moyens et protocoles de communication. Il est primordial, à ce point-ci de cette thèse, d'aborder ces protocoles (tant au niveau électronique qu'informatique) qui seront un enjeu majeur dans les travaux qui seront présentés dans les chapitres ultérieurs.

3.1 LES DIFFÉRENTES ARCHITECTURES

Les habitats intelligents reposent pour la très grande majorité sur une architecture centralisée. Pourtant, d'autres équipes ont incorporé des techniques d'approches distribuées afin de mieux répartir la charge de calcul. Dans cette section, nous allons étudier ces deux approches afin d'en extraire les forces et les faiblesses.

3.1.1 ARCHITECTURE CENTRALISÉE

Centraliser une infrastructure rassemble les données dans un même point ([Banerjee et al., 2018](#); [Eckl & MacWilliams, 2009](#)). Habituellement, ce point central est très performant et est connecté à l'ensemble des autres dispositifs à travers l'environnement, directement ou non. On

parle alors de réseau, dont les communications sont quasiment toutes dirigées vers ou depuis le serveur central. Ce type d'architecture se base donc sur le concept de client-serveur, où chacun des capteurs est un client interrogeant le serveur pour avoir ou divulguer de l'information (voir Figure 3.1).

Cette manière de concevoir les systèmes permet de simplifier grandement le développement, puisqu'une seule machine régira l'ensemble de l'architecture. C'est d'ailleurs ce type d'infrastructure qui est utilisé dans les habitats intelligents discutés aux Sections 2.3.1 et 2.3.2. Dans celui-ci, si un besoin de puissance de calcul supplémentaire se crée, il est beaucoup plus facile d'augmenter la puissance d'une seule machine que de plusieurs. On peut tout simplement la remplacer par une plus récente ou bien augmenter sa capacité en améliorant ses composants. Puisque le serveur va recevoir, stocker et traiter l'ensemble des données, cela nous amène à un autre avantage ; comme tout est sur le serveur et que rien n'est stocké ni traité directement sur les différents capteurs, si l'un d'eux tombe en panne, il peut être facilement remplacé et reprendra son bon fonctionnement sans problème. Cependant, cet avantage constitue également le plus gros inconvénient des architectures centralisées, à savoir la création d'un goulot d'étranglement. En effet, si un capteur tombe en panne, le système continuera quand même à fonctionner, mais qu'arrivera-t-il si c'est le serveur lui-même qui flanche ? Dans ce cas, l'infrastructure sera amputée de la très grande majorité de ses services. Aussi, la maintenance de celui-ci doit être faite correctement, notamment si l'environnement évolue ; si celle-ci n'est pas bien suivie, elle va créer un frein au serveur qui risque ensuite de tomber en panne. De plus, comme le point central est critique, il est généralement très cher, ce qui compose un autre inconvénient majeur, surtout dans notre cadre de recherche.

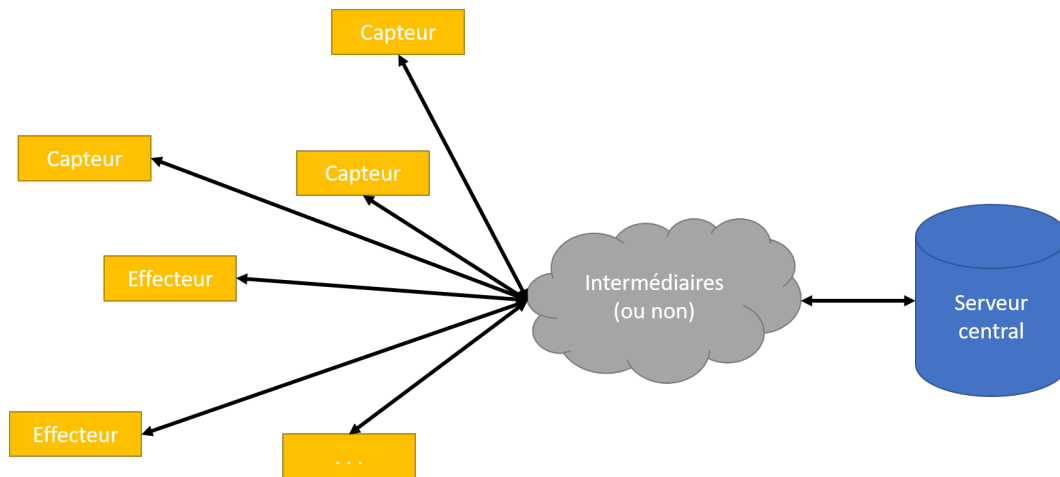


Figure 3.1 : Schéma d'une infrastructure centralisée

3.1.2 ARCHITECTURE DISTRIBUÉE

En comparaison aux architectures centralisées qui ont un intermédiaire unique, une architecture distribuée n'en possède pas. Il s'agit plutôt d'une combinaison de relations client-serveur entre chaque dispositif, généralement sans avoir de point unique regroupant toutes les transmissions. Dans le domaine des habitats intelligents, les capteurs intelligents sont les dispositifs composant majoritairement le réseau, mais on retrouve souvent d'autres appareils un peu plus puissants lors d'un besoin de puissance de calcul d'appoint, qui jouent le rôle d'un serveur sans, toutefois, constitué un point crucial. En effet, l'utilisation de plusieurs petits dispositifs sont privilégiés dans les approches distribuées (Plantévin *et al.*, 2019; Lewis, 2004). On peut observer un exemple de ce type d'architecture à la Figure 3.2. Il est aussi important de noter qu'il existe des infrastructures hautement distribuées. Dans ce sens, l'ensemble des dispositifs sont reliés entre eux, ce qui permet une plus grande robustesse dans le système. On parle alors de maillage au sein d'un réseau. Cependant, dépendamment des technologies utilisées, cette option n'est pas forcément applicable (par exemple, dans le cadre d'une

utilisation industrielle, un capteur peut être à une extrémité d'une usine et donc hors de portée d'un autre qui serait complètement de l'autre côté).

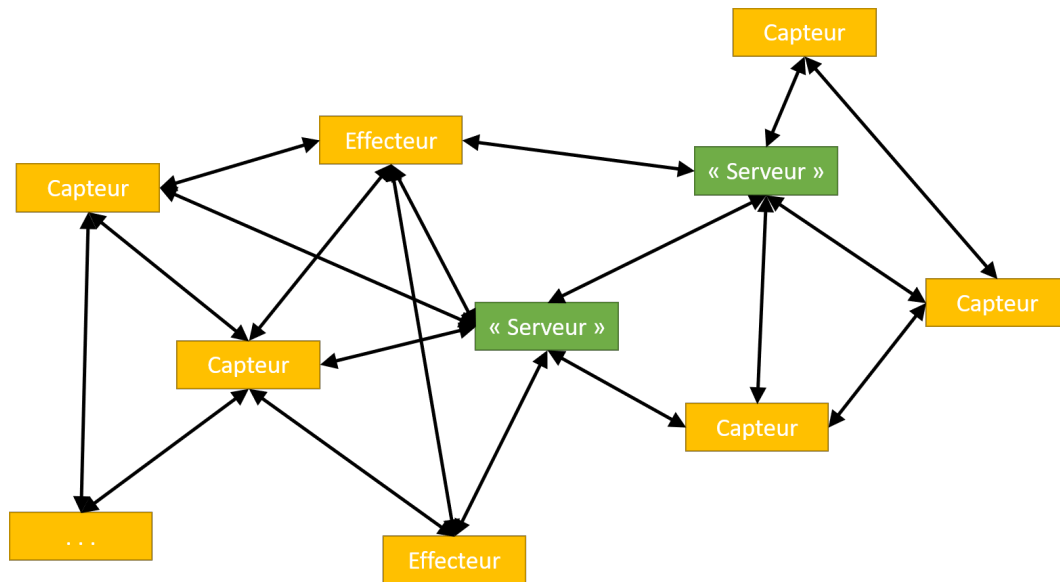


Figure 3.2 : Schéma d'une infrastructure distribuée

Les avantages d'une telle architecture sont nombreux. Tout d'abord, comme il n'y a pas de point central, il est beaucoup moins probable d'avoir de goulots d'étranglement au travers du réseau. De ce fait, aucun problème important similaire à un bris au niveau du serveur central en architecture centralisée ne pourrait subvenir. Cependant, des bris matériels peuvent apparaître plus facilement sur n'importe quel point du réseau, nécessitant alors d'être changé, bien qu'il n'impacte pas vraiment le réseau. De plus, lorsque l'on parle de plusieurs dispositifs connectés sur un réseau et réalisant des tâches, ils ne sont jamais utilisés à leur pleine puissance. Combiner la puissance de calcul restante de chacun des dispositifs afin d'augmenter les ressources disponibles est un atout majeur. Bien que beaucoup de petites unités de calculs ne sont souvent pas aussi performante qu'un ordinateur standard, la puissance disponible est suffisante pour des tâches moins demandantes. Ensuite, il est possible de répartir les tâches

bien plus intelligemment, puisque chaque dispositif connaît à un instant T la ressource utilisée de ses voisins. En effet, étant constamment connecté avec les autres, chacun peut avoir les informations relatives à l'utilisation de ses voisins, et ce, assez rapidement. De ce fait, il pourrait assez aisément lui communiquer des tâches afin de rentabiliser son utilisation.

Cependant, l'infrastructure logicielle nécessaire afin de faire fonctionner une telle architecture est très complexe. Il y a plusieurs grands défis dans ce domaine, à savoir l'authentification (Gope *et al.*, 2018), la répartition des tâches (Chen & Hao, 2018), la communication (McClelland *et al.*, 2004), l'accès aux données (Dimakis *et al.*, 2005), la gestion des bris (Xiong *et al.*, 2009), etc.

3.2 DONNÉES : LEUR INTERPRÉTATION ET LEUR COMMUNICATION

Les données relatives à un habitat intelligent sont créées par l'intermédiaire des changements dans l'environnement mesurés par les capteurs, qui doivent, ensuite, les transmettre en fonction du type d'architecture sélectionné (3.1). Ici, il faut que la donnée soit transmise du capteur vers la puce capable de la comprendre et potentiellement vers d'autres dispositifs. On va alors parler de Communication capteur puis d'Interprétation des données.

3.2.1 COMMUNICATION CAPTEUR

Lorsque l'on parle de capteurs intelligents, il faut bien les dissocier du concept de capteur matériel. En effet, rappelons qu'un capteur intelligent est composé principalement d'un capteur matériel et d'une puce électronique programmable (p. ex., ATmega328p¹¹). Cependant, dépendamment du capteur matériel utilisé, le type de communication mis en place pour qu'il puisse acheminer ses données à la puce peut changer du tout au tout.

11. <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328p>

SIGNAUX DIGITAUX ET ANALOGIQUES

Dans notre domaine, les signaux digitaux et analogiques sont les deux types de signaux pouvant exprimer de la donnée. En règle générale, l'intégralité des autres protocoles matériels (comme l'I2C ou le SPI) se reposent sur ces signaux. En fait, un signal digital est émis afin de gérer des données binaires, comme par exemple celui d'un capteur électromagnétique (2.2.3) qui ne peut être qu'ouvert ou fermé. En revanche, les analogiques ont une plus grande étendue en termes de voltage, permettant alors la communication de données plus précises, comme par exemple, celles d'un IRPS (2.2.2). Ces deux types de signaux peuvent être utilisés sur un circuit 5 V par exemple, ce qui leur donnera respectivement les ensembles de valeurs $[0, 5]$ et $\{\forall x \in \mathbb{R} \mid 0 \leq x \leq 5\}$ (voir Figure 3.3). Dans la majorité des puces électroniques, ces signaux sont émis à partir de *pin* électroniques (qui peut aussi être considérée comme un port, un connecteur, etc.), qu'il faut donc choisir avec attention lors de la conception d'un dispositif.

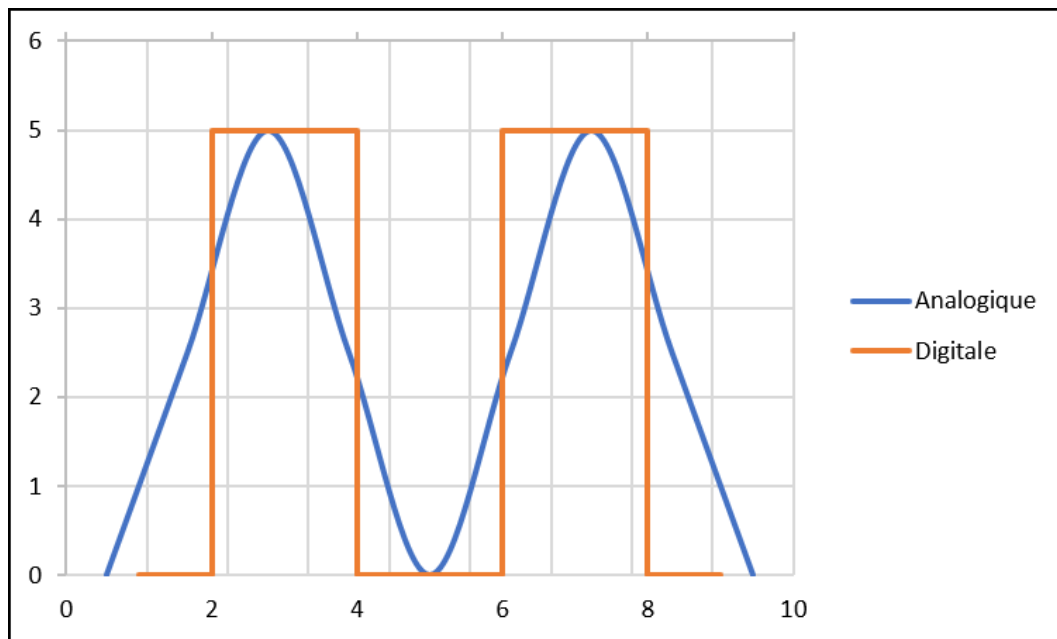


Figure 3.3 : Représentation d'un signal digital et analogique

Par ailleurs, comme le nombre de *pins* de ces types est limité sur les puces électroniques, les ingénieurs ont conçu deux manières pour convertir le digital vers l'analogique et l'analogique vers le digital. Afin de convertir le digital vers l'analogique, ils ont notamment conçu le Modulateur de largeur d'impulsions (PWM, (Holtz, 1992)), se basant sur un voltage stable afin de faire une conversion correcte. La conversion inverse prend en revanche une pièce électronique supplémentaire appelée un *Convertisseur analogique vers digital* (ADC).

I2C (Circuit Inter-Intégré)

Un autre mode de communication est l'I2C, fonctionnant sur un bus informatique, inventé par Philips Semiconductors en 1982 (NXP Semiconductors N.V., 1982; Paret & Fenger, 1997)). Un bus informatique est un ensemble de liaisons physiques (câbles, pistes de circuits imprimés) pouvant être exploitées en commun par plusieurs éléments matériels afin de communiquer. Celui-ci permet donc à plusieurs dispositifs de se connecter sur une seule et même connexion physique. Elle fonctionne via un système de *maître-esclave* (Kalinsky & Kalinsky, 2001) avec un maître pouvant avoir plusieurs esclaves et chaque communication doit être démarrée par un maître. Pour se faire, chaque dispositif possède une adresse sur 7 bits, permettant donc à 128 appareils de s'y connecter.

La connexion physique se fait sur deux *pins*, à savoir *SDA* pour les données et *SCL* pour l'horloge (Kalinsky & Kalinsky, 2001). Grâce à cette dernière, toutes les données transitant sur le bus sont synchronisées. Par ailleurs, deux vitesses de communication sont les plus utilisées avec l'I2C, soit 100 *kbit/s* ou 400 *kbit/s*. Il y a deux autres modes pour atteindre des vitesses plus hautes, mais celles-ci induisent un changement électrique dans les différents dispositifs, ce pour quoi, ces deux autres modes ne sont que très peu utilisés.

SPI (Interface Périphérique Série)

Le grand concurrent de l'I2C est le SPI (Interface Périphérique Série) inventé par Motorola au milieu des années 1980 et ensuite repris par NXP ([Motorola, Inc., 2000](#); [Leens, 2009](#)). Fonctionnant aussi sur le concept de bus informatique, il permet une communication complète dans les deux sens. Pour ce faire, il utilise 4 câbles comparativement à I2C qui en utilise que 2. Parmi ces câbles, un est dédié pour l'horloge (*SCLK*), deux pour la transmission des données (*MOSI* qui permet d'envoyer et *MISO* qui permet de recevoir) et le dernier qui permet de sélectionner le périphérique qui recevra le message (*SS*). Au vu de cette configuration, on peut observer qu'ayant deux *pins* pour envoyer/recevoir de la donnée, il est capable d'envoyer de la donnée tout en pouvant en recevoir, ce qui accroît le taux de transmission. De plus, le choix de la communication se fait via une *pin* digitale qui permet de sélectionner le dispositif qui recevra le message. De ce fait, quand un dispositif n'est pas en action, il ne consomme pas plus d'énergie puisque son canal de communication est fermé. Cependant, SPI ne peut gérer qu'un seul maître et devient plus complexe à mettre en place lorsqu'il y a beaucoup d'esclaves à cause du grand nombre de câbles nécessaires.

3.2.2 INTERPRÉTATION DES DONNÉES

Une fois les données transmises à la puce électronique (souvent appelée microcontrôleur, puisqu'elle est capable d'interpréter les données en y appliquant de la logique), il faut les transformer depuis leurs valeurs brutes vers une donnée intelligible. Par exemple, un accéléromètre renverra une donnée brute analogique en voltage qui devra normalement être convertie pour s'exprimer en *g* qui est l'unité de mesure standard pour évaluer les accélérations. Pour ce faire, il y a deux méthodes ; soit le fabricant du capteur matériel donne une formule mathématique ou

une manière de faire pour effectuer la conversion, ou non. Dans ce dernier cas, il faut effectuer une calibration expérimentale afin de convertir la donnée brute en donnée intelligible.

MÉTHODE DU FABRICANT

Quand le fabricant fournit une formule de conversion, il faut généralement simplement l'appliquer sur la valeur du voltage retournée par le capteur matériel afin de convertir la donnée brute (digitale ou analogique) en donnée intelligible. Cette formule est habituellement constituée de plusieurs constantes, préalablement définies par le fabricant et parmi lesquels l'utilisateur devra choisir, en fonction de son utilisation du capteur. Par exemple, prenons l'exemple d'un accéléromètre (centrale inertielle *LSM9DS1*¹²) connecté directement en I²C à un microcontrôleur. On retrouve plusieurs paramètres à fixer : la sensibilité, qui permet de régler l'accéléromètre en termes de capacité (2 g, 4 g, 8 g ou 16 g exprimée respectivement par les constantes 6.1×10^{-5} , 1.22×10^{-4} , 2.44×10^{-4} , 7.32×10^{-4}) et le taux d'échantillonnage (10 Hz = 1, 50 Hz = 2, 119 Hz = 3, 238 Hz = 4, 476 Hz = 5, 952 Hz = 6).

Il faut choisir ces paramètres en fonction du type de mouvements à détecter lors d'une utilisation normale. Par exemple, si nous reconnaissons des mouvements de Judo, il est probable qu'une chute importante entraîne un maximum de 3,4 g, nécessitant alors de paramétrer le capteur pour qu'il puisse détecter jusqu'à 4 g. En termes d'échantillonnage, il faut que chaque mouvement soit complètement détaillé par un nombre d'enregistrements décents. Un mouvement complexe se réalisant en une demi-seconde nécessiterait alors au moins 100 Hz.

Une fois ces paramètres réglés, le fabricant indique les adresses mémoires auxquelles les valeurs sont stockées, afin d'être lues et ensuite converties. Ici, deux octets sont réservés pour chaque axe, permettant d'avoir 65 536 valeurs différentes. Une fois ces étapes terminées,

12. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm9ds1.pdf>

le fabricant indique simplement d'effectuer une multiplication entre les facteurs de sensibilité et la valeur lue dans les registres. Bien entendu, il ne faut les lire qu'au taux d'échantillonnage préalablement fixé.

L'exemple illustré ici pour le *LSM9DS1* s'applique à plusieurs types de capteurs matériel, dépendamment des instructions du fabricant.

MÉTHODE PAR CALIBRATION

Parfois, il arrive qu'aucune méthode ni formule ne soit fournie avec un capteur matériel pour exécuter la conversion. Par exemple, le IRPS que nous utilisons¹³. Ce capteur renvoie une valeur analogique (en Volts), qui correspond à une distance entre 20 *cm* et 150 *cm*. Ces deux limites sont établies par le fabricant. Il faut donc exclure toutes valeurs étant en dehors de cet intervalle. Il est important dans ce cas d'utilisation de calibrer le capteur en fonction du microcontrôleur choisi, puisque la connectique matérielle pourrait changer entre deux microcontrôleurs/nano-ordinateurs et ainsi influencer les données résultantes.

Dans ce cas, la méthode expérimentale consiste à échantillonner plusieurs valeurs de voltage à différentes distances (entre 20 *cm* et 150 *cm*) afin d'extraire une relation mathématique permettant d'effectuer la conversion voulue. Dans le cas précis du capteur de proximité infrarouge, nous avons collecté les valeurs de voltage émises par le capteur matériel lorsqu'un obstacle se trouvait à 20 *cm*, 30 *cm*, 40 *cm*, ..., jusqu'à 150 *cm*. Avec cette méthode expérimentale, nous avons obtenu les données illustrées à la Figure 3.4. La courbe bleue indique les valeurs de voltage collectées tandis que la courbe verte indique la courbe de regression obtenue. Le coefficient de détermination entre les données collectées et la courbe extraite

13. https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Infrared/gp2y0a02yk_e.pdf

était de 0,9997. Ensuite, l'équation de la courbe de régression obtenue a pu être utilisée très facilement pour réaliser la conversion des valeurs de voltage émises par le capteur en distances.

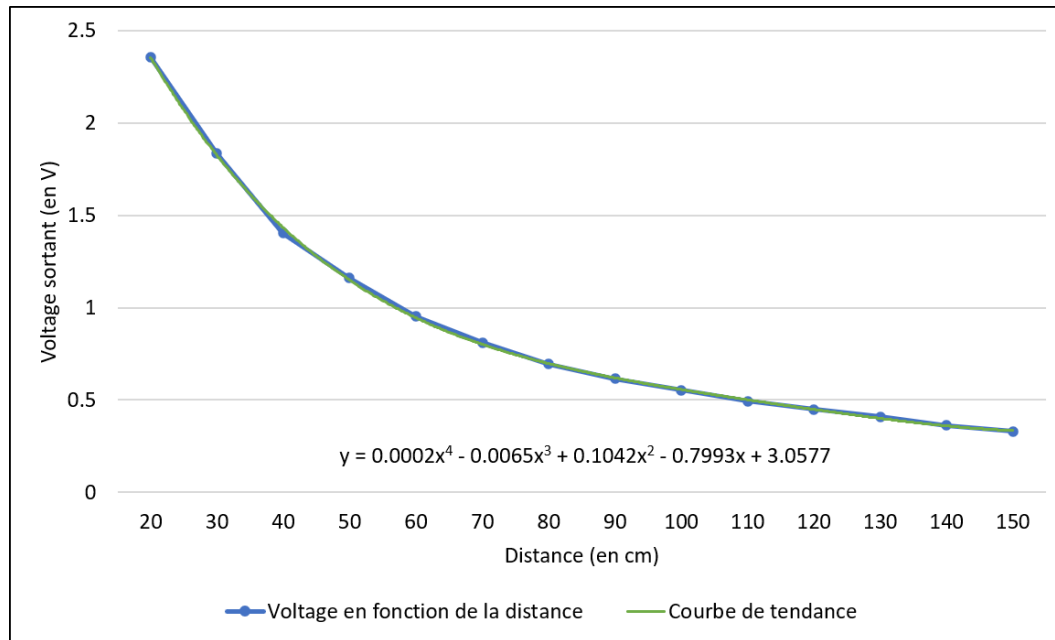


Figure 3.4 : Données de calibration d'un IRPS et sa courbe de tendance

3.2.3 COMMUNICATIONS SANS FIL

Une fois que l'étape de conversion des données est terminée, on dispose, désormais, de données intelligibles. Ces données doivent maintenant être communiquées au reste de l'infrastructure. Cependant, comme chaque capteur intelligent peut embarquer un protocole de communication différent en fonction de ses besoins, cette communication peut devenir très complexe. Nous aborderons, dans cette section, les différents protocoles les plus utilisés dans le contexte des habitats intelligents. Plus particulièrement, nous examinerons les protocoles de communications sans fil puisqu'un kit de capteurs intelligents facilement déployable requiert inévitablement et pour des raisons évidentes, d'avoir le moins de liaisons matérielles possibles.

WI-FI

En 1997, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a ratifié la norme *IEEE 802.11* (IEEE, 1997), le standard pour le *Réseau local sans fil* (WLAN). Les détails quant à ce protocole seront assez brefs puisqu'il s'agit d'un protocole très commun. Parmi ces détails, un point important à mentionner dans notre cas est la nécessité d'avoir un routeur qui a connaissance de l'ensemble du réseau. En effet, celui-ci devra connaître l'ensemble des informations sur chacun des membres de son réseau (capteurs, effecteurs, unités de calcul, etc.). On peut notamment mentionner deux protocoles fréquemment utilisés, à savoir le TCP (*Protocole de contrôle de transmission*, (Postel, J., 1980)) et l'UDP (*Protocole de datagramme utilisateur*, (Postel, 1980)), tous deux issus du protocole IP (*Protocole Internet*).

Le protocole TCP est majoritairement utilisé, car il garantit à l'utilisateur que ses données seront envoyées correctement et qu'elles seront aussi bien reçues. De plus, il garantit qu'aucun paquet envoyé ne sera corrompu. Pour ce faire, il utilise une prise de contact en trois étapes (*Three-way Handshake*), résumée à la Figure 3.5. Cette façon de faire permet une garantie de réception de messages, mais en contrepartie, ses vérifications prennent beaucoup plus de temps.

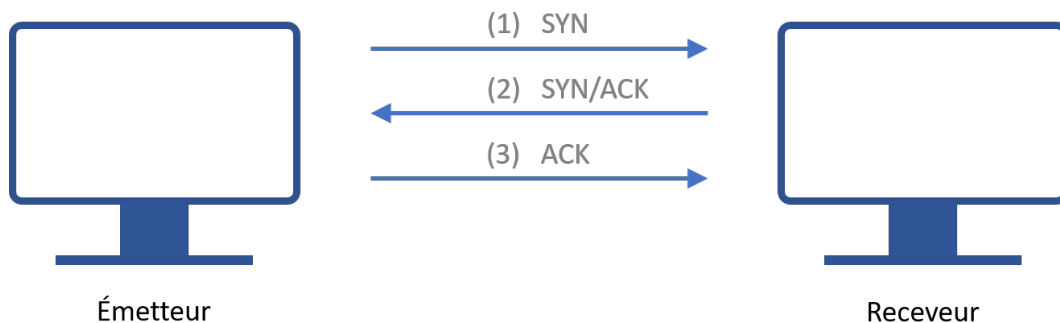


Figure 3.5 : Prise de contact en trois étapes (TCP)

C'est pourquoi [Postel](#) a créé en 1980 le protocole UDP ([Postel, 1980](#)). Ce dernier a été conçu pour ne pas faire de vérifications et, par conséquent, avoir une vitesse accrue. Cependant, comme aucune vérification n'est réalisée, on ne peut pas avoir l'assurance que le paquet est bien parti, qu'il est bien reçu, qu'il a été mal reçu, etc. Ce fonctionnement a fait en sorte qu'il soit beaucoup moins employé dans les décennies suivantes sa création (plus de besoins en TCP qu'en UDP). Or, récemment, on voit son utilisation croître grandement avec l'arrivée de l'IoT et de la nécessité d'une haute vitesse de transfert ([Plantevin et al., 2019](#); [Zaidi et al., 2017](#); [Kurniawan et al., 2017](#)). De plus, de récents travaux indiquent que ce protocole n'est pas aussi sensible à la corruption et à la perte de données qu'il ne laisserait l'entendre. En effet, sur 10 000 paquets de 1 Ko, aucun ne se perd ni n'arrive corrompu, mais dépendamment de l'émetteur, plusieurs peuvent arriver avec un problème d'ordonnement (0,2 % des paquets arrivent plus tard qu'ils ne devraient) ([Plantevin et al., 2017](#)).

Pour finir, le Wi-Fi n'est pas adapté pour une utilisation embarquée, puisque sa consommation est telle qu'aucun dispositif ne serait capable d'avoir une autonomie décente sans avoir de batterie externe.

BLUETOOTH

Le protocole Bluetooth ([Bluetooth SIG, 2021](#)) est, lui aussi, très présent dans la vie de tous les jours, puisqu'une grande majorité des dispositifs électroniques existants sur le marché l'utilise. Nécessitant un couplage entre deux dispositifs pour qu'ils puissent communiquer, il leur permet de s'échanger des données jusqu'à 24 Mo/s (théoriquement). Afin de mieux comprendre, observons comment deux dispositifs peuvent se repérer dans un environnement.

Chaque dispositif Bluetooth a une adresse MAC permettant de l'identifier dans un certain rayon. Cette distance est la même pour tout appareil utilisant Bluetooth, mais peut être

augmentée en ajoutant du voltage à son antenne. Ainsi, la portée théorique de communication d'un dispositif en Bluetooth s'élève à moins de 10 m de rayon avec un courant de 1 mW, environ 10 m avec un courant de 2,5 mW et environ 100 m avec 100 mW. Cependant, cette portée théorique est très fortement influencée par l'environnement physique (murs, toits, etc.) et par l'utilisation de la gamme de fréquences 2.4 GHz (sur laquelle fonctionne aussi la majorité des réseaux Wi-Fi). De plus, l'augmentation du voltage entraîne évidemment une augmentation de la consommation énergétique. Bien que Bluetooth soit le plus souvent utilisé sur des systèmes embarqués lorsqu'il y a un besoin de transfert de grandes données, ou en grande quantité, il est à utiliser avec précaution puisqu'il possède une consommation énergétique encore assez grande (Lee *et al.*, 2007). Quand l'appareil n'est pas connecté, mais est en fonction, il est dans un état neutre. Il peut cependant être placé dans un état de connexion, émettant alors un paquet indiquant qu'il est prêt à recevoir une nouvelle connexion. Ce paquet peut être reçu par tous dispositifs Bluetooth actuellement en train de collecter les paquets dans la zone. Ils disposeront alors des deux informations suivantes concernant le dispositif prêt à être connecté : son adresse MAC pouvant recevoir une connexion et son RSSI, qui correspond à sa force de signal qui varie en fonction de l'éloignement entre les dispositifs. Admettons qu'un second dispositif reçoive ce paquet et décide d'enclencher la connexion, ils peuvent passer à la phase suivante, à savoir, la communication. De fait, la connexion Bluetooth ne peut gérer qu'un seul et même dialogue par défaut, ce qui diffère du Wi-Fi qui peut gérer plusieurs clients pour un même dispositif. Par ailleurs, les nouvelles versions du protocole Bluetooth publiées à partir des années 2010 permettent de se connecter à plusieurs dispositifs, à condition de modifier son fonctionnement au plus bas niveau, qui n'est habituellement pas ou très peu pris en charge par les librairies Bluetooth. C'est d'ailleurs dans ces années qu'est apparue une nouvelle version de ce protocole, à savoir le Bluetooth Basse Energie (BLE) .

BLE (Bluetooth Basse Energie)

En comparaison à son homonyme le Bluetooth, le BLE est fondamentalement différent (il a vu le jour en 2010 et a été intégré dans le consortium Bluetooth ([Bluetooth SIG, 2021](#))). En effet, ici, on parle de communication entre un dispositif principal, enclenchant les connexions et plusieurs périphériques, possédant les données. De plus, ayant été conçu pour de l'embarqué, sa consommation énergétique est extrêmement moindre comparé au Wi-Fi ou au Bluetooth ([Lee et al., 2007](#); [Gomez et al., 2012](#)). Le nombre de dispositifs auquel il est possible de se connecter dépend grandement de la puce électronique du principal ainsi que de son antenne, mais la théorie indique un nombre de clients maximal de 20 simultanément¹⁴. Cependant, les équipes travaillant sur ce protocole ont ajouté une fonction de maillage, permettant de relier beaucoup plus de dispositifs entre eux, mais obstruant le fonctionnement même du BLE ([Zenker et al., 2016](#)). En effet, un périphérique possède habituellement plusieurs services, répartis en fonction de leurs utilités. Ceux-ci peuvent ensuite communiquer des données à l'aide de caractéristiques. Par exemple, on peut facilement avoir un service "Centrale inertielle" possédant trois caractéristiques à savoir "Accéléromètre", "Gyroscope" et "Magnétomètre". Les données à transmettre sont stockées comme valeur d'une caractéristique et récupérées par le dispositif principal si celui-ci lit son contenu ou si il écoutait ses changements. En effet, chacune peut avoir plusieurs options parmi celles explicitées au Tableau 3.1 (*WR* indique "Sans réponse").

Le débit radio du BLE est réparti sur toutes les caractéristiques écoutées, ce qui privilégie une seule utilisation pour un débit plus grand. Cependant, ce protocole n'est pas adapté pour de très grandes données, puisqu'une caractéristique ne peut être qu'au maximum de 20 octets, complexifiant beaucoup la tâche. Bien que les créateurs indiquent un débit théorique de

14. <https://www.nordicsemi.com/Software-and-tools/Software/S140>

| Caractéristique | Description |
|-----------------|--|
| Broadcast | Permet à la valeur d'être placée en paquet d' <i>advertising</i> (important pour les maillages). |
| Read | Permet de lire la valeur |
| Write | Permet de donner une valeur |
| Write WR | Permet de donner une valeur sans avoir de confirmation |
| Notify | Permet de s'abonner aux changements de valeurs |
| Indicate | Permet de s'abonner aux changements de valeurs et de recevoir des accusés de réception |

Tableau 3.1 : Les différents types de caractéristiques BLE et leur fonction

plusieurs Mo/s, la vitesse réelle se situe plutôt autour de plusieurs Ko/s lorsque l'on prend en compte tous les détails du réseau (Dian *et al.*, 2018).

ZIGBEE

Le protocole de communication ZigBee (Zigbee Alliance, 2015) est également très utilisé dans le domaine des habitats intelligents grâce à sa facilité d'installation et sa gestion d'énergie (Han & Lim, 2010a,b). En effet, sa consommation d'énergie très faible est similaire à celle du BLE. Cependant, alors que BLE est avant tout utilisé pour de l'échange de données d'un dispositif à un autre, ZigBee est développé pour créer un maillage important entre tous les dispositifs connectés. De plus, ZigBee possède un débit similaire, malgré une portée de moins de 10 m, le rendant très dépendant d'environnements fermés et/ou contrôlés. Les principaux avantages de ce protocole sont sa facilité d'implémentation et le fait que son maillage important permet de déployer jusqu'à 65 000 dispositifs sur un même réseau. Cependant, c'est justement ce maillage important qui rend son développement plus complexe. De plus, son taux de transmission maximum est très bas par rapport aux autres (250 kb/s, où le BLE peut monter jusqu'à 2 Mb/s).

Z-WAVE

Pour finir cette section, il faut aussi aborder le protocole propriétaire Z-Wave¹⁵. Il a été pensé et conçu pour des habitats intelligents (Marksteiner *et al.*, 2017), de part sa facilité d'installation et sa durée de vie en énergie très longue. Un point très important de ce protocole est sa fréquence d'utilisation ; tandis que ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth et BLE sont tous sur la même (2,4 GHz), Z-Wave utilise la bande de fréquence 908,42 MHz. Ayant alors aucune interférence (ou très peu), sa portée est grandement augmentée (environ 100 m, (Lobaccaro *et al.*, 2016)). De plus, cette portée peut facilement être augmentée, puisque, comme le ZigBee, Z-Wave est un réseau maillé. Cependant, comme les dispositifs Z-Wave ne peuvent utiliser aucune autre technologie pour se connecter sur cette bande, il est indispensable d'avoir un dispositif adapté, rendant alors le prix de celui-ci plus important. En effet, le prix des capteurs/effecteurs opérant en Z-Wave est plus important que dans toutes les autres technologies sans fil (Withanage *et al.*, 2014).

3.3 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons tout d'abord abordé les infrastructures centralisées et distribuées dans les habitats intelligents. Ensuite, le coeur de tout habitat intelligent étant la donnée, nous avons décrit les modes de communications des données au niveau des capteurs matériels, leurs interprétations pour les rendre intelligibles ainsi que les différents protocoles de communication sans fil pour transmettre ces données rendues intelligibles vers d'autres dispositifs.

Ainsi, nous avons pu voir les avantages et les défauts de chacune des deux approches. Bien que la centralisation soit bien plus simple à mettre en place, le concept d'avoir toute la

15. <https://www.z-wave.com/>

force de calcul au sein d'un même dispositif est relativement risqué. Cependant, dans une approche fortement distribuée, l'absence d'un point central rend la détection de problèmes beaucoup plus simple et rapide (problèmes techniques, manque de donnée, ralentissement, etc.). Une bonne piste d'exploration serait de délocaliser une partie du calcul sur les capteurs, afin d'en extraire directement de la donnée intéressante (par exemple, au lieu de retourner "2,56 g", retourner "le porteur marche") et simplement de la compiler dans un point central, dans lequel quelques algorithmes d'IA permettraient d'inférer des états plus complexes. Dans ce cas, le calcul est légèrement distribué sur les capteurs intelligents à leur source, permettant d'ôter au point central la responsabilité de retransformer toutes les données manquantes. Dans notre cas, cela se concrétiserait par le développement d'un kit de capteurs intelligents possédant une unité de calcul un peu plus performante, tout en restant dans une gamme de prix adéquate, dont le travail serait simplifié par la délocalisation des traitements sur une partie des capteurs intelligents le constituant.

Ensuite, nous avons examiné les différents protocoles de communication existants au niveau du capteur matériel. Dans chacun d'entre eux, le traitement est différent, nécessitant alors une adaptation lors de la création du capteur intelligent. En effet, comme le capteur matériel est habituellement celui qui oblige l'utilisation d'un protocole particulier, il faut l'adapter en conséquence. Par ailleurs, une fois la donnée brute collectée, il est indispensable de la transformer en donnée intelligible. Ensuite, il sera possible de la traiter pour en extraire de plus en plus d'informations.

Enfin, les échanges de ces différentes données intelligibles entre les dispositifs présents dans un environnement intelligent s'effectuent, dans la majorité des cas, via un protocole de communications sans fil. En effet, une installation rapide et facile doit forcément se faire avec le moins de câblage possible, puisque les personnes qui auront à installer le kit n'auront pas forcément les compétences adéquates. Cependant, d'autres défis surviennent avec le sans-fil,

notamment la gestion de la batterie ; il faut donc trouver un bon compromis à ce niveau. De plus, plusieurs protocoles existent pour transférer de la donnée quelconque, ce qui rend la tâche très complexe lorsque l'on parle d'un réseau commun, puisque chacun possède son propre langage et sa propre manière de communiquer. Il faut donc trouver un moyen d'unir ces différents protocoles afin qu'ils puissent communiquer entre eux.

CHAPITRE IV

UN KIT MODULABLE DE CAPTEURS INTELLIGENTS FACILEMENT DÉPLOYABLE ET ADAPTABLE

Nous avons pu voir dans la littérature que plusieurs infrastructures existent, reposant sur différentes architectures logicielles et matérielles, sans pour autant que celles-ci s'accordent sur une utilisation commune des données de capteurs. Parmi ces infrastructures, on retrouve celles inspirées de l'industrie, comme le LIARA ou le DOMUS, celles inspirées Services (OSGI), comme GatorTECH (Helal *et al.*, 2005), ou encore celles du type *Smart Home in a Box*, comme CASAS (Cook *et al.*, 2013b). De plus, on a également pu observer que ces différentes infrastructures sont soit centralisées, soit distribuées, et ne gèrent que peu de protocoles de communication à la fois. Par exemple, CASAS (Cook *et al.*, 2013b) n'utilise que des dispositifs utilisant la technologie ZigBee et s'y limite donc. Cependant, l'aspect des différents protocoles réseau n'est pas l'unique raison qui pousse à la création d'un nouveau kit de capteurs intelligents. En effet, la majorité des habitats intelligents sont très complexes à mettre en place ; si on prend, par exemple, le LIARA ou le DOMUS, ce sont deux environnements composés de capteurs industriels, qui nécessitent une installation par des professionnels qualifiés (électricien, technicien, plombier, etc.). De plus, le prix des capteurs, de l'infrastructure, du matériel spécialisé industriel nécessaire combiné aux salaires des professionnels qualifiés pour l'installation, est généralement très élevé (Bouchard *et al.*, 2012). En effet, on retrouve notamment plusieurs îlots coûtant 2500 \$ l'unité¹⁶, des automates à 1500 \$ l'unité¹⁷ et un serveur à 5000 \$¹⁸, ce qui donne une estimation du coût d'un tel

16. https://www.advantech.com/products/automation-controllers-i-os/sub_1-2mlf31

17. https://www.advantech.com/products/automation-controllers-i-os/sub_1-2mlf31

18. <https://www.dell.com/en-ca/work/shop/cty/sf/poweredge-rack-servers>

habitat intelligent à plus de 16 500 \$ sans aucun capteur/effecteur. De plus, étant donné la conception des capteurs industriels, l'adaptabilité est compromise : si un nouveau type de capteur devait être intégré et que l'infrastructure n'est pas assez flexible et évolutive (protocole stricte, câblage, etc.), son ajout ne sera pas possible. En effet, comme ces capteurs sont conçus pour l'industrie, ils sont testés pour une utilisation continue en environnement bien plus stressant que celui des habitats intelligents, mais par conséquent, ils ne supportent pas une utilisation tierce. Souvent, l'installation de nouveaux dispositifs nécessite, encore une fois, un professionnel qualifié, engrangeant, du coup, des coûts supplémentaires. Par exemple, l'ajout dans un tel environnement d'un bracelet intelligent ou tout autre dispositif portatif, impliquerait de grosses modifications dans l'infrastructure (ajout de matériel pouvant recevoir les données, sa programmation, la liaison avec le serveur central, la base de données, etc.), ce qui ne devrait pas être le cas idéalement.

Ainsi, nous devons trouver une nouvelle façon de procéder afin d'avoir un environnement intelligent à moindre coût, facilement installable par une personne non-experte, pouvant facilement s'adapter, autant en termes de protocoles de réseau que de types de capteurs intelligents.

De ce fait, ce chapitre sera consacré à la présentation du nouveau kit de capteurs intelligents. D'abord, le protocole de communication uniformisé élaboré sera discuté. Ensuite, les différents capteurs intelligents à intégrer ou à créer pour faire partie du kit seront abordés. Enfin, des améliorations potentielles du kit seront proposées et l'une d'elle sera présentée.

4.1 UN PROTOCOLE DE COMMUNICATION UNIFORMISÉ

L'infrastructure d'habitat intelligent portatif (ou kit de capteurs intelligents portatif) développée ici, nommée LIPSHOK (*LIARA Portable Smart Home Kit*), se caractérise par

une unité centralisée et une multitude de capteurs intelligents. Ceux-ci seront présentés de manière explicite dans les chapitres qui suivront celui-ci. Bien que la majorité des architectures centralisées nécessitent un ordinateur très puissant pour recueillir beaucoup de données et les stocker, nous avons ici opté pour un nano-ordinateur très connu : le Raspberry Pi 3. Les raisons de ce choix sont multiples. En premier lieu, il s'agit d'un dispositif très connu de la communauté, qui a son plein support et qui est très performant. En second lieu, comme les données ne seront pas stockées sur l'unité centrale, cela nous permet d'exclure la nécessité d'un ordinateur avec beaucoup de stockage. Dans les récentes études ([Mokhtari et al., 2018](#); [Maitre et al., 2019](#); [Tran et al., 2020](#)), on peut observer une tendance à une utilisation en temps réel des données transmises. Ainsi, le Raspberry Pi 3 qui sert ici d'unité centrale ne stocke que quelques heures de données (la durée est paramétrable) avant de les supprimer définitivement. Cependant, étant donné les choix de conception du kit proposé, l'ajout d'un dispositif capable de stocker les données collectées sur de plus longues périodes pour des fins d'analyses longitudinales serait très facile (un disque dur combiné avec une application connectée au kit, comme mentionné dans la Section 4.3, à la fin de ce Chapitre). Ainsi, cette section va détailler la conception du protocole de communication uniformisé rendant possible la facilité avec laquelle il est possible d'adapter le kit aux différents besoins de l'utilisateur.

4.1.1 CONCEPTION

L'unité principale fonctionne avec l'utilisation de deux WebSockets. La technologie WebSocket permet d'ouvrir un canal de communication bidirectionnelle (fonctionne avec TCP en sous-jacent) et de le garder ouvert tant que les deux parties (client et/ou serveur) ne ferment pas la connexion. De plus, un même serveur peut avoir beaucoup de clients, ce qui, dans notre cas, est indispensable. Ainsi, deux WebSockets sont présents sur l'unité centrale : un pour recevoir les données (W_{input}) et l'autre pour les envoyer (W_{output}).

Avant d'aller plus loin et par souci de clarté, il est de convenance de définir quelques termes qui seront utilisés dans ce chapitre.

- **Capteur intelligent** : Le capteur intelligent est l'association entre le capteur physique et une puce programmable (ou nano-ordinateur) qui lui permet d'incorporer différents algorithmes de traitement de données et enfin une connectivité avec ou sans fil.
- **Récepteur** : Dans ce chapitre, le récepteur correspond à l'entité responsable de récupérer les données d'un ou de plusieurs capteurs intelligents communiquant avec le même protocole. Pour ce faire, il doit disposer de deux technologies : WebSocket (TCP/IP) et celle des capteurs intelligents connectés à ce récepteur. Par exemple, un récepteur BLE reçoit des données d'un bracelet intelligent et d'un PIR fonctionnant sous BLE et les renvoie à W_{input} défini ci-après, par la technologie WebSocket.
- W_{input} correspond ici à un WebSocket de l'unité centrale qui a la responsabilité de combiner les données des différents récepteurs et de les normaliser. Il sert aussi comme un récepteur WebSocket, pour des potentiels capteurs intelligents utilisant directement cette technologie.
- W_{output} correspond ici à un WebSocket de l'unité centrale qui émet les données récupérées de W_{input} aux différents clients de celui-ci. Par exemple, si deux interfaces (web et mobile) sont connectées à W_{output} , elles vont recevoir toutes les données en temps réel, peu importe le capteur intelligent duquel elles proviennent, ou le protocole de communication qui a été utilisé.

Ainsi, l'unité centrale possède deux WebSockets, W_{input} pour la réception des données des différents récepteurs et W_{output} pour l'émission des données en temps réel vers les clients qui y sont connectés. Il est important de noter ici que bien que pour le développement de la thèse, les récepteurs sont présents sur l'unité centrale, ils peuvent être démarrés de n'importe

quel dispositif, puisqu'ils sont connectés par un WebSocket à l'unité centrale, ce qui peut permettre de mieux gérer les différences de charge sur l'unité centrale ou même d'augmenter la taille physique du réseau (si par exemple un capteur intelligent est trop loin de l'unité centrale, il peut se servir de son récepteur comme relai).

On peut retrouver l'infrastructure de ce kit à la Figure 4.1, où l'unité centrale est représentée par le rectangle en pointillée, avec ses deux WebSockets W_{input} et W_{output} . On y retrouve les capteurs intelligents (étoiles noires) qui peuvent dialoguer avec leur récepteur associé (rectangle orange). On voit, ensuite, la connexion entre les récepteurs et W_{input} , qui se fait par la technologie WebSocket. Enfin, différentes applications peuvent être connectées sur W_{output} afin de récupérer les données en temps réel. Par exemple, on peut y connecter une application de forage de données, de visualisation ou même de stockage.

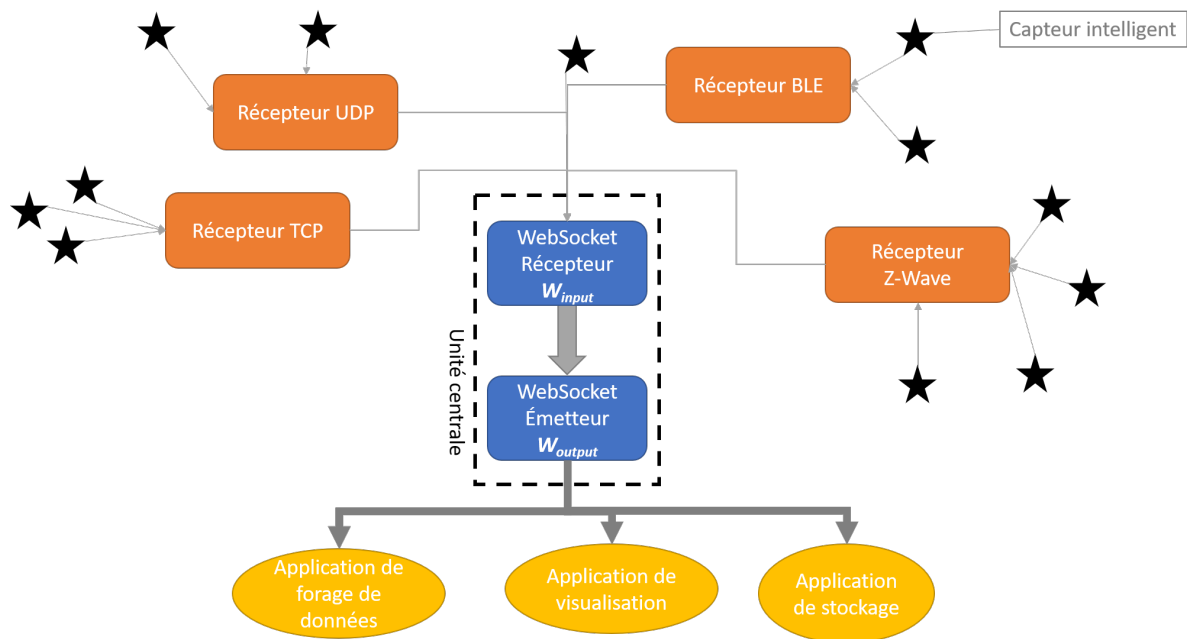


Figure 4.1 : Schéma de l'infrastructure LIPSHOK

4.1.2 RÉCEPTEURS DE PROTOCOLES

Chaque récepteur fonctionne sur un port spécifique dans cette infrastructure : le récepteur principal de l'unité centrale est un WebSocket (W_{input}) existant sur le port 5001, le UDP sur le port 5010, le TCP sur le port 5020 et W_{input} renvoie un message JSON (*Notation d'Objets en JavaScript*) contenant `{"data" : "OK"}` pour pouvoir s'assurer de la bonne réception du message.

Dans l'état actuel du LIPSHOK, cinq protocoles sont gérés sur l'unité centrale : WebSocket, UDP, TCP, BLE et Z-Wave. Le code source de tout le projet est disponible sur le lien GitHub¹⁹ où on peut facilement retrouver chaque récepteur dans le dossier prévu à cet effet afin d'en faire des modifications ou même d'en ajouter d'autres pour pouvoir gérer de nouveaux protocoles. Bien que le récepteur fourni dans LIPSHOK soit développé dans le langage de programmation *Go*²⁰ (gestion du parallélisme facilitée, compilation croisée peu importe la plateforme et/ou le système d'exploitation, habitudes), il pourrait être développé dans n'importe quel langage sans compromettre son fonctionnement. En effet, sa seule tâche est de transformer les données provenant des capteurs intelligents pour qu'elles soient lisibles par un WebSocket. Ainsi, les données pourront être acheminées à l'unité centrale, qui pourra les traiter ou les émettre par l'intermédiaire de W_{output} . Par exemple, si un capteur intelligent fonctionnant sur BLE envoie ses données provenant d'une caractéristique « accelerometer » avec la valeur 1,51 g, le travail de ce récepteur sera de convertir ce message pour son transfert, en ajoutant des données relatives au capteur intelligent en lui-même (un nom, une utilité ou autre donnée envoyée dans la période d'authentification).

19. <https://github.com/kevinchapron/LIPSHOK-final>

20. <https://golang.org/>

4.1.3 SÉCURITÉ DES DONNÉES

Une autre obligation à respecter pour utiliser LIPSHOK est que les données doivent respecter un chiffrement bien spécifique. Chaque message envoyé doit posséder un en-tête de 24 octets, répartis tel qu'illustré au Tableau 4.1.

| Octet(s) concerné(s) | Composition |
|----------------------|---|
| 0-1 | Taille de la donnée |
| 2-14 | AES IV |
| 15 | Type de la donnée |
| 16-24 | Vide - Réservé pour de potentielles améliorations |

Tableau 4.1 : Format de données devant être utilisé dans LIPSHOK

Étant donné la taille maximale d'un paquet dans ce type de réseau, un paquet peut alors être d'un maximum de 65 536 octets, impliquant alors un corps de message d'au maximum 65 512 octets. De plus, il faut absolument que la taille de la donnée spécifiée dans les deux premiers octets de l'en-tête corresponde à la taille de la donnée réelle, sinon le paquet ne sera pas traité. Ce maximum est configurable dans le code fourni, mais a été fixé au maximum pour plus de facilité pour les développeurs.

Une fois le message formaté, nous avons ajouté une couche de chiffrement du message, afin qu'il ne puisse pas être lisible par de potentielles attaques (notamment de type « man-in-the-middle »). Ainsi, l'en-tête du message reste sous forme brute, tandis que le corps du message est chiffré, en utilisant l'algorithme AES-128, qui a largement fait ses preuves²¹. Le vecteur d'initialisation d'AES doit évidemment être renouvelé à chaque envoi d'un nouveau message. La clé de chiffrement maîtresse est, quant à elle, intégrée directement dans le code source des dispositifs du réseau.

21. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.197.pdf>

Bien que AES soit très performant, certains des dispositifs utilisés, notamment ceux fonctionnant avec BLE, ont une taille de messages maximale fixe de 20 octets. Cela rend son utilisation très aléatoire (AES changeant la dimension du message une fois chiffré). Ainsi, nous avons opté pour un deuxième type de chiffrement pour les dispositifs ayant des restrictions importantes : l'algorithme PRESENT (Bogdanov *et al.*, 2007). Basé sur un système de chiffrement par bloc, sa taille nécessaire est beaucoup plus faible que celle d'AES, tout en étant ultra-léger tant en termes d'exécution, que de taille. Il est conçu pour être utilisé sur des unités ayant de très faibles capacités de calcul et des limitations très strictes, ce qui est parfait dans certains de nos cas, comme les dispositifs BLE.

4.2 CAPTEURS INTELLIGENTS DE LIPSHOK

Une fois l'infrastructure développée et après avoir examiné les différents capteurs utilisés dans les habitats intelligents actuels, nous avons décidé d'en utiliser certains et d'en créer de nouveaux. En effet, certains sont quasiment toujours inclus dans les habitats intelligents, de par l'information qualitative qu'ils apportent et de par leur rapport qualité/prix important. Ainsi, on retrouve régulièrement des PIR et des capteurs électromagnétiques. C'est pourquoi nous avons ajouté des capteurs électromagnétiques, fonctionnant avec la technologie Z-Wave, sans modifier leur comportement. En revanche, les PIR ont été modifiés avant leur ajout dans le kit, pour pouvoir localiser approximativement les POI dans l'environnement. Ainsi, ce capteur peut à la fois détecter des mouvements, mais aussi les associer potentiellement à la personne qui les a réalisés. L'ensemble de ce capteur intelligent, sa conception, sa réalisation, ses performances sont expliquées en profondeur dans le Chapitre 7.

Ensuite, nous avons ajouté de nouveaux capteurs innovants, comme un capteur de vitesse. Fonctionnant avec des capteurs de type IRPS, il permet de mesurer la vitesse de marche des

POI et utilise une technologie similaire à celle des PIR intelligents pour associer la vitesse avec le bon POI. Ce dispositif est détaillé dans le Chapitre 6.

Dans la majorité des habitats intelligents, la salle de bain n'est couverte que par un PIR, qui permet d'avoir de l'information très limitée. Par exemple, (Hu *et al.*, 2016) demande l'installation de trois PIR dans une salle de bain afin de récupérer les détections de mouvements dans : la salle de bain en générale, devant l'évier et devant la toilette. Cependant, comme les PIR fonctionnent avec des variations de mouvements, la détection du temps d'activité est complexe et assez floue en termes de précision (tel que discuté au Chapitre 2). C'est pourquoi nous avons conçu deux capteurs intelligents, couvrant respectivement les activités reliées à la toilette et à la douche/baignoire. Coupler ces informations de haute qualité avec un PIR intelligent permettrait d'avoir un bien meilleur suivi des activités, mais aussi de l'information précieuse et très précise qui n'est actuellement pas disponible avec le type de capteurs présents dans les salles de bain de nos jours. Cette information, couplée à d'autres capteurs plus standards (PIR) permet de bien mieux couvrir la salle de bain et de bonifier les données qui en émergent. Toute la conception relative aux capteurs intelligents de la salle de bain est détaillée dans le Chapitre 5.

Enfin, nous avons développé un bracelet capable de reconnaître les activités réalisées par son porteur de façon très efficace (Chapron *et al.*, 2018) et l'avons intégré dans l'ensemble des capteurs intelligents. Cependant, puisque nous avons un dispositif porté par les POI, nous voulions coupler cette information avec les capteurs intelligents disposés dans l'environnement, afin d'en extraire une localisation et une identification. Le bracelet fonctionnant avec la technologie BLE, il émet continuellement un RSSI qui va permettre sa localisation et une identification du POI réalisant une action dans l'environnement. Ainsi, ce capteur intelligent permet beaucoup d'améliorations dans l'ensemble du kit, autant en termes d'information (reconnaissance d'activités), de localisation (RSSI capté par les autres capteurs) ou même

d'identification (le bracelet peut être identifié et ainsi le POI). Sa conception et sa réalisation sont décrites dans le Chapitre 8.

4.3 AMÉLIORATIONS POTENTIELLES PAR LE BIAIS DE NOUVELLES APPLICATIONS LOGICIELLES

L'infrastructure d'habitat intelligent portatif a été détaillée dans ce chapitre et nous avons pu observer que le W_{output} est la source de données émergentes de l'ensemble des capteurs intelligents du kit. De ce fait, n'importe qui ayant les connaissances nécessaires peut créer des applications logicielles capables de lire ces données et de les utiliser à d'autres fins que celles prévues. Ainsi, cette section va présenter la structure de données que les différentes améliorations devront utiliser. Ensuite, des exemples d'applications logicielles à réaliser seront mentionnées et l'une d'elles qui a été réalisée sera présentée.

4.3.1 STRUCTURE DE DONNÉES

Sans application en sortie du système, quand l'unité centrale est en marche, les données transitent, le système est activé, mais il n'y a pas d'algorithmes quelconques sur les données provenant de l'environnement intelligent. Cependant, comme on l'a vu dans les sections précédentes, les données provenant de W_{input} respectent un format assez simple. Elles sont composées d'une structure JSON avec deux clés : **from** et **Data**, qui contiennent respectivement un identifiant correspondant au capteur intelligent et la donnée qu'il envoie, sous un format JSON. On peut retrouver un exemple de donnée émise d'un récepteur UDP, avec la donnée provenant d'un capteur intelligent et sa retransmission par W_{output} dans la Figure 4.2. On y retrouve notamment la structure mentionnée ci-dessus, avec comme Identifiant "**TestingSensor**" et comme donnée "**{\"speed\" : 1,42060670801408}**". On retrouve également la structure d'un message mentionné dans la Section 4.1, avec les deux premiers octets représentant la taille de

la donnée chiffrée, avec un ordre de petit boutisme (*little endian*, en bleu). Ensuite, le vecteur d'initialisation sur 12 octets, intégré octet par octet, en orange, suivi du type de donnée sur un octet, en rouge. Pour le moment, trois différents types de données sont gérés : un envoi de donnée (par exemple la vitesse détectée par le capteur), une authentification (premier échange de message avec l'unité centrale, pour déterminer les caractéristiques du capteur intelligent) et enfin sa calibration (avec les différentes étapes nécessaires).

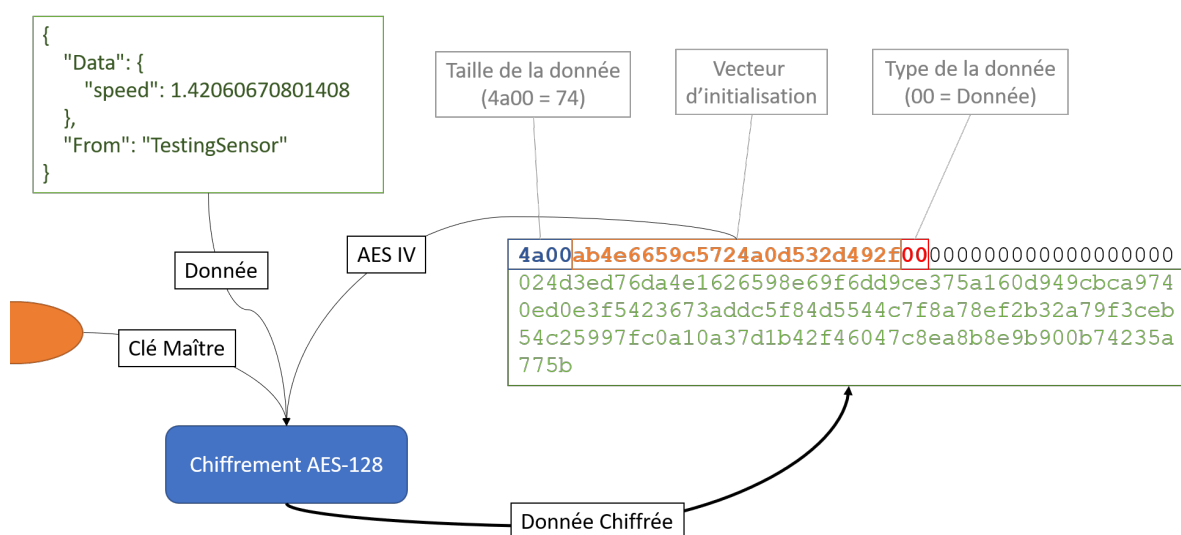


Figure 4.2 : Exemple d'une donnée transmise par LIPSHOK

4.3.2 EXEMPLES D'APPLICATIONS LOGICIELLES

Avec ces données, il est facile de concevoir de nouvelles applications logicielles en bénéficiant de l'ensemble des capteurs, peu importe le protocole de communication qu'ils utilisent. Dans ce chapitre, nous avons mentionné une application connectée à un disque dur pour collecter les données sur du long terme, afin de réaliser des études plus complexes. Bien entendu, ce n'est pas la seule application, on en dénombre une très grande quantité possible.

Par exemple, nous avons conçu une interface capable d’avoir en temps réel les données du kit complet. La Figure 4.3 est un exemple de l’interface avec les capteurs intelligents mentionnés dans les différents chapitres ci-après. On peut notamment retrouver le code source de cette interface sur le GitHub de ce projet.

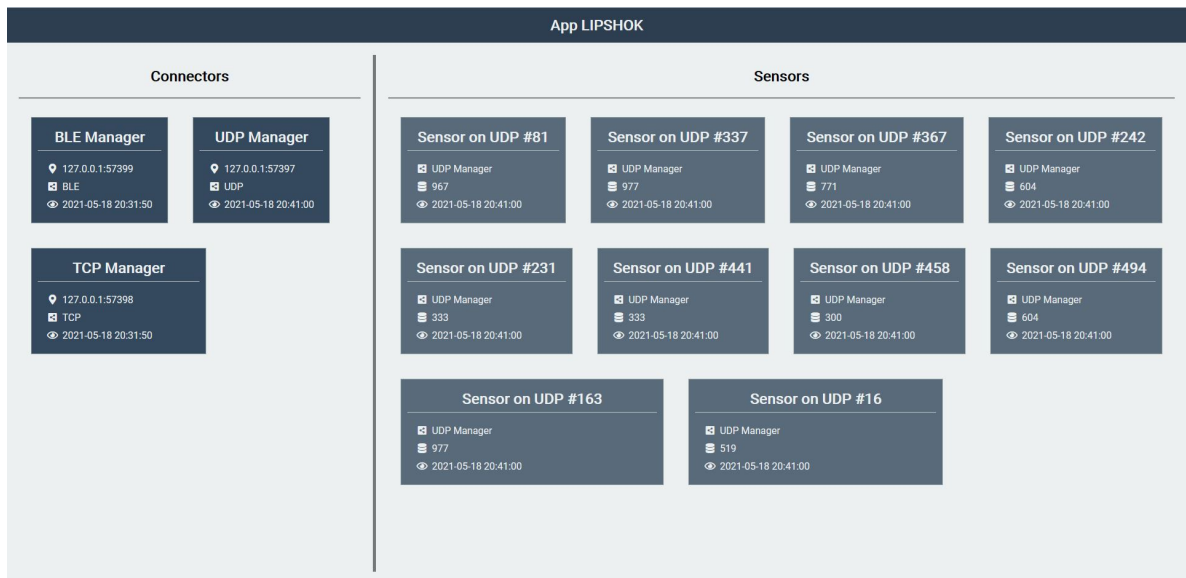


Figure 4.3 : Exemple d’interface avec LIPSHOK

CHAPITRE V

INTÉGRER LA SALLE DE BAIN SANS S'IMMISER DANS L'INTIMITÉ DES UTILISATEURS

Nous avons pu observer au fil des chapitres les différents capteurs utilisés dans des habitats intelligents ainsi que leurs utilisations habituelles. Afin de concevoir un kit possédant une grande diversité d'applications, nous proposons plusieurs associations de capteurs afin de répondre aux besoins dans les différentes pièces de la maison. L'une d'elles est particulièrement compliquée d'accès pour des capteurs visuels, qui donneraient pourtant des données de grande qualité : la salle de bain. En ce sens, nous devons trouver une solution afin de recueillir de l'information dans cet environnement, sans pour autant nous immiscer dans l'intimité des utilisateurs, tout en gardant une qualité d'information importante. Cette partie a été le sujet d'un article ([Chapron *et al.*, 2020](#)) publié dans le journal *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*.

La salle de bain est une zone très importante dans une habitation puisque les habitants y vont forcément pour effectuer leur toilette. Ainsi, plusieurs équipes de recherche ont utilisé la reconnaissance d'activités de la vie quotidienne pour déceler des signes précurseurs de maladies non encore diagnostiquées ([Nelson *et al.*, 2016](#); [Bussmann *et al.*, 2001](#)) et, dans certains cas, ont permis un diagnostic ([Walsh *et al.*, 2011](#)). D'autres équipes ont, quant à elles, réussi à extraire des signes indiquant des troubles du comportement ([Sprint *et al.*, 2016](#)) chez le patient en comparant l'évolution de sa réalisation d'ADL au fur et à mesure du temps. Ce type de reconnaissance d'activités, appliqué par le biais de l'Intelligence Ambiante ([Li *et al.*, 2015](#)), pourrait permettre de faire ces analyses de façon régulière afin de détecter rapidement un quelconque changement chez l'habitant. Cependant, les ADL étant très nombreuses et variées, il faut se concentrer sur une zone permettant d'avoir la meilleure information possible.

Après avoir observé la littérature, nous avons vu qu'une personne affectée par une maladie cognitive passera de moins en moins de temps à son hygiène corporelle (Fonseca & Soares, 2008; Folstein *et al.*, 1985), tout en prenant de plus en plus de temps à réaliser les tâches qui y sont reliées (Milanovic *et al.*, 2013; Van Gelder *et al.*, 2004). De ce fait, la surveillance de l'hygiène corporelle par l'IAm semblerait être une excellente façon de prévenir l'aggravation de symptômes précurseurs non décelés. Dans ce chapitre, nous exposerons d'abord les problématiques de l'utilisation de capteurs dans la salle de bain, pour ensuite exposer notre solution, que ce soit en terme matériel et logiciel. Nous proposons aussi une série de tests afin de vérifier la bonne performance de ce système, ainsi que les résultats qui y sont associés.

5.1 PROBLÉMATIQUES

Afin d'étudier les deux problématiques majeures de ce projet, nous avons réalisé une étude de la littérature dans son état actuel. Bien qu'une quantité énorme de travaux existent quant à l'utilisation de l'IAm, c'est facilement réductible puisque nous nous concentrons sur les capteurs déployables facilement, et ce, dans la salle de bain, pour effectuer de la reconnaissance d'activités.

Tout d'abord, la majorité des habitats intelligents qui existent embarquent quasiment toujours de l'équipement industriel (Bouchard *et al.*, 2014; Kientz *et al.*, 2008; Cook *et al.*, 2013a). Pour des cas d'utilisation similaires au nôtre, la salle de bain est souvent équipée de capteurs dans les robinets afin de surveiller les écoulements d'eau, de tapis de pression ou de PIR. Bien que ces capteurs soient intéressants, ils ne sont pas tout à fait adaptés. En effet, les capteurs présents dans les robinets pourraient donner de l'information très importante, mais ils sont habituellement installés dans la plomberie, ce qui rend leur installation plus compliquée ou impensable considérant les coûts que nécessite la venue d'un plombier. De façon similaire, les tapis de pression sont habituellement intégrés directement lors de la construction dans le

sol, rendant son installation difficile en milieu déjà existant. De plus, admettons une utilisation du capteur d'écoulement d'eau installé dans une douche. L'information renvoyée par celui-ci sera uniquement le débit d'eau, sans prendre en compte l'information quant à la présence (ou non) de quelqu'un dans la douche. Par exemple, une personne qui nettoierait son bain utiliserait le pommeau, sans pour autant être dans la douche ou prendre soin de son hygiène corporelle. Dans ce type de cas d'utilisation, ces capteurs manquent de précision. De la même manière, si quelqu'un utilise un mouchoir dans la salle de bain, le jette dans la toilette et tire la chasse d'eau, le système pourrait se méprendre et considérer cette action comme une utilisation normale de la part de son utilisateur, ce qui n'est pas vrai. Cependant, le dernier type de capteur majoritairement utilisé en habitat intelligent industriel, le PIR, est un bon moyen de détecter la présence de quelqu'un dans la salle de bain. Bien que leur installation est très facile et que leur information est de qualité, l'interprétation de celle-ci n'est, en revanche, pas la plus simple. En effet, si quelqu'un est inactif dans son bain par exemple, le PIR ne détectera aucun changement, puis renverra un changement d'état seulement lorsque la personne sortira du bain. Comment savoir que ces deux actions n'en sont en fait qu'une seule ? De nombreux habitats intelligents se basent sur les PIR pour effectuer de la reconnaissance d'activités, mais c'est une façon de faire très complexe en termes d'interprétation. En comparaison, d'autres équipes, comme celle de la *Grenoble Health Smart Home* (Lago *et al.*, 2017), préfèrent utiliser des caméras qui sont une source très riche d'informations, malgré leur complexité d'interprétation logicielle. Toutefois, étant donné notre cadre d'utilisation, tout dispositif capable d'enregistrer des images est inadmissible pour des raisons évidentes de vie privée et de nudité.

D'autres équipes à travers le monde ont spécialisé leur travail dans la reconnaissance d'ADL dans la salle de bain. Fogarty *et al.* ont, par exemple, utilisé un microphone orienté sur la tuyauterie (Fogarty *et al.*, 2006), pendant que Chen *et al.* et Debes *et al.* ont utilisé un microphone plus basique dans la salle de bain (Chen *et al.*, 2005b; Debes *et al.*, 2016). La

méthode écoutant les bruits issus de la tuyauterie est intéressante dans le sens où elle détecte facilement quand de l'eau coule, que ce soit d'un robinet ou d'une chasse d'eau. Cependant, bien que la méthode obtienne de bons taux de reconnaissance d'activités, l'information quant à la durée associée à l'activité réalisée n'est en revanche pas précise. De plus, ce type de dispositif doit être placé sur la tuyauterie, ce qui nécessite un accès direct, ou une installation à la construction. Si ces deux façons de faire ne sont pas possibles, l'installation est alors bien plus complexe. Pour ce qui est de la deuxième méthode, à savoir, l'utilisation d'un microphone standard dans la salle de bain. Cette dernière ne pose pas de difficulté au niveau de l'installation. En revanche, cette méthode de reconnaissance est très sensible au bruit. Par exemple, le téléphone qui sonne, une personne présente dans une autre pièce ou la télévision qui est allumée avec un volume élevé sont des situations qui produisent du bruit risquant de fausser la détection. De plus, l'utilisation de microphones entraîne un inconvénient important à mentionner. L'intrusivité dans la vie privée des habitants est assez similaire à celle des caméras, les rendant alors inconfortables avec leur utilisation. Pour finir, une équipe a travaillé avec des contacts électromagnétiques (Tapia *et al.*, 2007) pour s'attaquer à la reconnaissance d'activités liées à l'hygiène. Installé sur la chasse d'eau, il est très facile de détecter une utilisation de celle-ci, mais encore une fois, le capteur ne donne aucune information quant à la durée d'utilisation de la toilette. Dans notre cas d'utilisation, l'information primordiale à acquérir est le temps passé à réaliser une activité liée à l'hygiène. De ce fait, ce type de capteurs est très vite écarté.

Après avoir observé les différents capteurs déjà utilisés, leurs avantages et inconvénients, nous avons décidé que nos dispositifs de détection des activités liées à l'hygiène devaient reposer sur un autre type de capteur. Cet autre type de capteur est peu fréquemment utilisé. Il s'agit du Capteur de proximité infrarouge (IRPS). Basé sur l'utilisation des ondes infrarouges, il mesure la distance d'un obstacle se trouvant devant lui en continu. La version du capteur

que nous avons choisie permet de détecter la distance d'un obstacle se trouvant devant lui dans un intervalle de 20 *cm* à 150 *cm*. Ce qui est bien assez pour nos deux cas d'utilisation : 1) détecter la présence (et la durée) d'une personne à la toilette ; 2) détecter la présence (et la durée) d'une personne dans le bain/douche. Un PIR aurait eu un fonctionnement presque similaire, à l'exception du fait qu'il n'aurait rien détecté lorsque l'habitant aurait été inactif devant lui (sans mouvement sur la toilette ou dans le bain/la douche). Avec le IRPS, nous obtenons constamment la distance entre la personne et le capteur. De plus, comme aucune image n'est prise, simplement une distance, l'intimité des habitants est préservée.

5.2 UN ENSEMBLE DE CAPTEURS SANS PERTURBER LES UTILISATEURS

Le système a bien entendu été conçu pour être facile à installer. Le type de capteur choisi permet une installation de type « plug-and-play », puisqu'une fois installé sur un support (un mur par exemple) et alimenté, il est prêt à être utilisé. Étant donné sa facilité d'installation, nous avons partagé à grande échelle le projet complet, à savoir l'architecture physique, les schémas, les modèles 3D, ainsi que le programme pour recréer le système²².

5.2.1 ARCHITECTURE PHYSIQUE

Le dispositif intelligent destiné à la salle de bain est constitué de trois parties. La première est évidemment le capteur ; un capteur de proximité infrarouge (*IRPS*). Ensuite, comme tout dispositif intelligent, il est nécessaire d'avoir un contrôleur capable de recevoir les données, de les interpréter et de les communiquer. Pour ce faire, nous avons choisi une Raspberry Pi Zero W, puisqu'appartenant à la catégorie Raspberry Pi, c'est un dispositif fiable, disposant d'un système d'exploitation complet et de plusieurs protocoles de communication embarqués de base ([Raspberry Pi Foundation](https://www.raspberrypi.org/), 2017). En effet, pouvoir passer d'un protocole à un autre

22. <https://github.com/LIARALab/ReconActivite-ChambreDeBain>

sans modifier le matériel est un aspect très important dans le contexte de l’IoT (*Internet of Things*), dans lequel nous nous situons. Ensuite, il faut évidemment pouvoir communiquer les données du capteur vers le contrôleur. Comme le capteur renvoie des données analogiques et que le contrôleur ne peut traiter que les données digitales, nous devons utiliser un ADC, l’ADS1x15²³, qui nous permettra d’effectuer la conversion et de les transmettre sur le bus I2C.

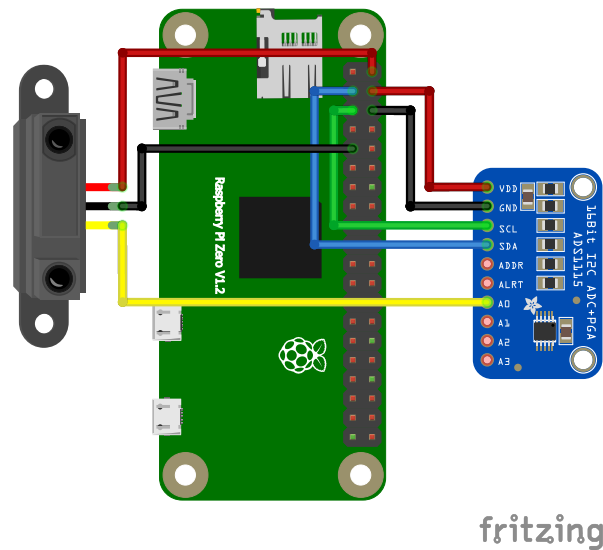


Figure 5.1 : Schéma d’un module IRPS destiné à la salle de bain (Chapron *et al.*, 2020)

Une fois la partie électronique terminée (Figure 5.1), il est indispensable de lui créer un boîtier, puisqu’il est destiné à être utilisé par une personne tierce. Dans notre cas, comme nous devons en déployer un au niveau de la toilette et un au niveau de la douche, les exigences ne sont pas les mêmes. Plus spécifiquement, celui à installer dans la douche nécessite un boîtier résistant à l’eau, puisqu’il peut recevoir des gouttelettes, en fonction de sa position. Afin d’avoir une meilleure idée de l’aperçu des modules, ceux-ci sont illustrés à la Figure 5.2. En

23. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ads1115.pdf>

termes de coût, le dispositif intelligent conçu est assez bon marché. La Raspberry Pi Zero W coûte 13 \$, 18 \$ pour le capteur et 10,50 \$ pour le convertisseur ADC. Un câble d'alimentation USB est nécessaire. Il peut tout aussi bien être le bloc d'alimentation officiel²⁴, qu'un câble USB plus standard²⁵. Au total, un dispositif va se détailler à environ 40 \$ pour une version prototype. Évidemment, il faut ajuster le coût en fonction du nombre de dispositifs nécessaires pour couvrir chaque toilette et chaque bain/douche, ainsi qu'une unité centrale qui gèrera les communications et les données. Dans notre cas, nous avons utilisé une Raspberry Pi 3 (coût d'environ 45 \$). Cette unité centrale permet de diffuser un point d'accès Wi-Fi permettant aux différents dispositifs de communiquer ensemble. De plus, étant de la même gamme que le contrôleur des dispositifs intelligents, il est capable de s'ajuster en fonction du protocole de communication désiré.



(a) Kit de modules



(b) Dispositif placé dans la baignoire



(c) Dispositif placé sur la toilette

Figure 5.2 : Kit des dispositifs destiné à la salle de bain et son positionnement (Chapron *et al.*, 2020)

24. <https://www.amazon.ca/dp/B01NCX6J2N/>

25. <https://www.amazon.ca/dp/B07232M876>

5.2.2 GESTION DE LA DONNÉE

Une fois configurés, les dispositifs ne cesseront jamais de se reconnecter à l'unité centrale, s'ils n'y sont pas déjà connectés. Ensuite, nous avons basé l'entièreté du réseau sur des messages d'un minimum de 24 octets. Étant donné l'aspect précoce de ce kit par rapport aux autres, 9 octets parmi les 24 sont considérés comme du *padding*, afin de faire des modifications au système plus part, au besoin. Comme les dispositifs ont besoin d'une connexion en temps réel, nous avons opté pour la technologie des WebSockets sur un réseau Wi-Fi, supportant ainsi les communications bilatérales. De plus, afin de sécuriser un minimum les données transmises et d'empêcher la majorité des attaques de type *man in the middle* (Mallik, 2019), chaque message est crypté en utilisant l'algorithme AES-128²⁶. Les deux premiers octets sont réservés pour indiquer la taille de la donnée à envoyer, suivis des 12 octets de l'IV (*Vecteur d'initialisation*) de l'algorithme de chiffrement. Ensuite, le quinzième octet indique le type de données transmis. Notre système gère trois types de messages différents, à savoir, un message standard pour l'envoi de données, un message d'identification et un de calibration. Les octets 16 à 24 sont vides afin de laisser l'opportunité au système de croître et d'avoir des options supplémentaires. Ensuite, la donnée peut être complétée, du moment qu'elle est au format JSON, qu'elle respecte la taille définie sur les deux premiers octets et qu'elle est chiffrée correctement. La Figure 5.3 représente un résumé d'un paquet (notez que byte est le terme anglais pour octet).

Maintenant que le paquet réseau a été défini, nous pouvons maintenant décrire la procédure d'échange. Tout d'abord, lorsqu'un dispositif se connecte au réseau, elle envoie un message formaté comme présenté ci-avant, avec le « DATA TYPE » configuré à 0x01 (authentification). Cela permettra ainsi de valider que le dispositif appartient bien au réseau

26. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.197.pdf>

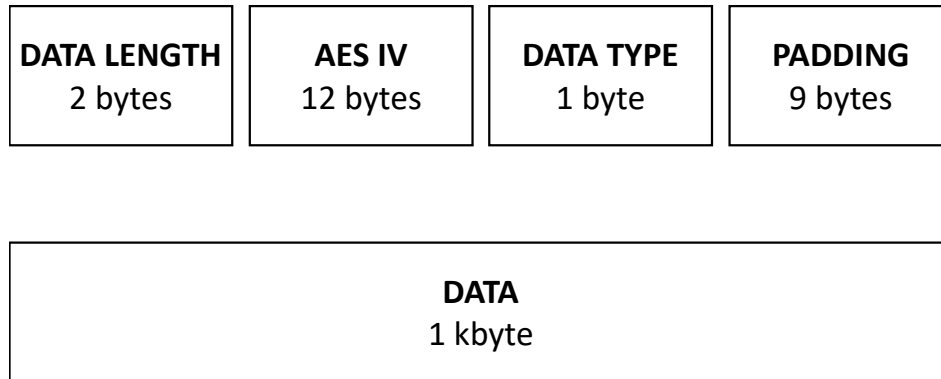


Figure 5.3 : Représentation d’un paquet réseau dans notre infrastructure (Chapron *et al.*, 2020)

(communiqué avec le même format de données). Le corps du message contient le nom du dispositif, son adresse réseau ainsi que le détail de la calibration qu’il nécessite (nombre d’étapes, indications pour chaque étape). Évidemment, si le dispositif est déjà calibré, ou n’a pas besoin de cette étape, il n’en envoie pas et passe donc à la prochaine phase.

5.2.3 PHASE DE CALIBRATION

La prochaine étape correspond à l’étape de calibration. Certains dispositifs pourraient ne pas avoir besoin de calibration et passeraient donc directement à la prochaine étape. Dans notre cas, les dispositifs doivent se faire calibrer. Pour ce faire, une interface a été conçue afin d’être utilisée sur un périphérique mobile (téléphone ou tablette intelligents). La calibration peut aussi être réalisée sur un ordinateur, mais le fait d’utiliser un dispositif mobile permet de se déplacer facilement et ainsi réaliser directement les tâches ayant besoin d’interactions directes. Par exemple, le dispositif se plaçant au niveau de la toilette nécessite des valeurs pendant qu’une personne est assise sur la toilette. Dans ce cas, il faut que la personne réalise l’action et confirme au système que le dispositif peut effectuer ses mesures. Une fois l’étape

validée, l'unité centrale demande la prochaine étape de calibration, et ce, jusqu'à complétion. Un exemple de fiche de dispositifs est donné à la Figure 5.4.

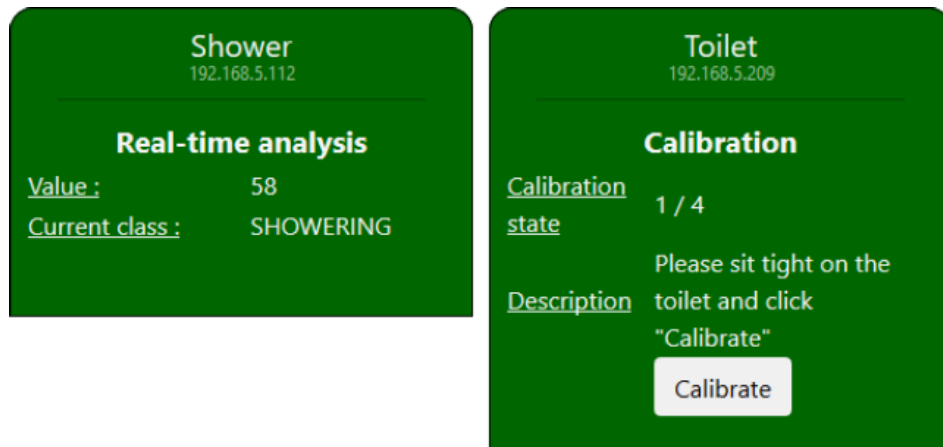


Figure 5.4 : Exemple d'interface utilisateur à propos des dispositifs de la salle de bain (Chapron *et al.*, 2020)

Les étapes de calibration pour le dispositif destiné à la douche sont très semblables à celui de la toilette, bien que plus facile à calibrer. En effet, il demande uniquement à l'habitant de s'assurer que rien n'est dans la douche et pourrait interférer avec les distances que prend le capteur, et ce, pendant une minute. Une fois que la personne le confirme, le capteur va collecter des données et en extraire une moyenne γ ainsi que son écart-type σ_γ . Une fois la minute terminée, ces deux valeurs seront enregistrées dans le capteur et γ sera la nouvelle valeur considérée comme étant la distance maximale avant de toucher un mur (à moins que la capacité maximale du capteur de 150 cm ne soit elle-même la distance maximale) et σ_γ sera la variabilité de cette valeur pendant une minute (la variabilité sera nulle si γ n'est pas plus petite que 150 cm).

Pour le module de la toilette, une calibration un peu plus compliquée en termes d'actions à réaliser pour la personne est nécessaire. Lors d'étapes préliminaires, la personne devait exécuter 4 actions : ρ_1 représente l'action d'être assis droit contre la toilette, ρ_2 l'action d'être

assis en se penchant vers l'avant, ρ_3 l'action d'être debout droit devant la toilette, le plus proche possible et ρ_4 la distance maximale à laquelle il serait raisonnable d'uriner. Cependant, nos expériences nous ont permis de dire que la position debout (ρ_3 et ρ_4) créait souvent des mesures incorrectes, dues au passage des habitants devant le dispositif sans pour autant y réaliser l'activité d'aller au toilette. Plus de détails à ce propos seront donnés à la Section 5.4. En conséquence, il n'est plus demandé que les actions ρ_1 et ρ_2 .

5.2.4 SYSTÈME DE RECONNAISSANCE D'ACTIVITÉS

Chaque dispositif (toilette et douche) a son propre système de reconnaissance d'activités, ce pour quoi, ils ont tous les deux des étapes de calibration indépendantes l'un de l'autre. Le fait de réaliser cette tâche localement permet d'avoir les données, même si le réseau est soumis à un problème technique majeur. En effet, le dispositif continuera de reconnaître ses activités et les resoumettra à l'unité centrale lorsqu'elle sera revenue en fonction. Afin de préserver les données sur les dispositifs, un maximum d'une journée de données est accumulé et peut être récupéré.

En premier lieu, avant d'expliquer la reconnaissance d'activités pour la douche, il faut définir quelques variables : α désigne la borne inférieure que le dispositif peut mesurer (20 cm), β est la borne supérieure définie par le minimum entre γ et 150 cm (distance maximale mesurable par le capteur) et γ représentant la valeur de calibration expliquée en Section 5.2.3, Le système de reconnaissance d'activités dans la douche utilise une fenêtre glissante de $T = 20$ secondes, avec un chevauchement de 75 %, $T_\theta = 20 \times \frac{75}{100}$ secondes (ces valeurs ont été déterminées expérimentalement et sont discutées à la Section 5.4). La première étape de l'algorithme est alors de récupérer la distance moyenne dans une fenêtre et de vérifier si elle se trouve dans l'intervalle $[\alpha, \beta - \sigma_\gamma]$. Si c'est le cas, on stocke les valeurs obtenues avec les

précédentes. L'accumulation stoppe lorsque 5 fenêtres consécutives ont une distance en dehors de l'intervalle. Les données stockées jusque là forment alors une activité potentielle.

Afin de réduire les faux positifs, il faut différencier le bruit (valeurs en dehors de l'intervalle) des données réelles. La valeur moyenne est alors recalculée sur les données brutes obtenues de chaque fenêtre stockée afin de vérifier qu'elle est toujours dans l'intervalle $[\alpha, \beta - \sigma_\gamma]$. Si la moyenne globale de toutes les distances enregistrées est en dehors de l'intervalle alors l'activité potentielle est en fait majoritairement du bruit et doit être ignorée.

Pour mieux comprendre, les deux étapes présentées ici servent respectivement à extraire de potentielles activités et à les filtrer. Par exemple, si des données indiquent une potentielle activité ayant une fenêtre dans l'intervalle toutes les 4 fenêtres (4 fenêtres de bruits pour une fenêtre de bonne donnée), c'est une activité potentielle. Pourtant, comme il y a quatre fois plus de bruits que de données cohérentes, la deuxième étape permettra de retirer cette itération. De fait, les activités extraites par cet enchaînement ressemblent donc le plus possible à des activités réalisées dans la douche.

Enfin, il est possible d'avoir deux activités reconnues qui n'en forment en fait qu'une seule. Par exemple, si la personne prend une douche, se déplace légèrement et reste inactive sous l'eau chaude pendant un certain temps, l'algorithme pourrait détecter trop de faux positifs pendant cette période-là et ainsi segmenter les données. Afin de mieux les gérer, nous prenons les temps d'enregistrement de la dernière donnée d'un ensemble et de la première du prochain et les comparons ; s'ils ont moins de 60 secondes d'écart, les évènements sont alors fusionnés. Un pseudo-code de cet algorithme est disponible ci-après (Algorithme 5.1).

```

1  $\alpha \leftarrow 20$ ;
2  $\beta \leftarrow \min(150, \gamma)$ ;
3 array  $\leftarrow$  nouveau tableau de détections;
4 tant que de la nouvelle donnée arrive faire
5   Attendre pour  $T - T_\theta$  nouvelles données;
6   window  $\leftarrow T_\theta$  Données reçues +  $(T - T_\theta)$  dernières données collectées;
7   M  $\leftarrow$  moyenne(window);
8   cpt  $\leftarrow 0$ ;
9   Ind1, Ind2  $\leftarrow 0$ ;
10  si  $\alpha < M < \beta$  alors
11    Add  $\leftarrow true$ ;
12    cpt  $\leftarrow 0$ ;
13    Ind1  $\leftarrow$  index de window;
14  sinon
15    si Add alors
16      cpt  $\leftarrow cpt + 1$ ;
17    sinon
18      si Add and cpt=5 alors
19        Ind2  $\leftarrow$  index de window;
20        Ajouter les objets de  $i = Ind_1$  jusqu'à  $i = Ind_2$  dans array;
21        Add  $\leftarrow false$ ;
22        cpt  $\leftarrow 0$ ;
23      fin
24    fin
25  fin
26  data  $\leftarrow$  dernier(array);
27   $\overline{array}$   $\leftarrow$  moyenne(data);
28  si non ( $\alpha < \overline{array} < \beta$ ) alors
29    supprimer data de array;
30  fin
31  Combiner les reconnaissance de array avec moins de 60 secondes de
    différences;
32 fin

```

Algorithme 5.1 : Reconnaissance d'activités pour les activités de la douche

Maintenant que nous avons examiné l'algorithme de reconnaissance de l'activité liée à la douche, nous allons maintenant nous attarder à celui pour l'activité liée à la toilette. Avant de continuer, il faut évidemment rappeler les variables ρ_1 et ρ_2 étant respectivement les distances entre le dispositif et la personne lorsqu'elle est assise droite sur la toilette, et assise/penchée. Évidemment, comme la borne inférieure du capteur est 20 cm, si ρ_1 est plus petit, il sera fixé à cette valeur. Similairement au précédent algorithme, nous utilisons une fenêtre glissante, cette fois de $T = 30$ secondes et un chevauchement de 80 %, $T_\sigma = 30 \times \frac{80}{100}$ secondes. Nous avons étudié expérimentalement les meilleurs paramètres possibles et ils sont discutés dans la Section 5.4.

Pour cet algorithme, la première étape est exactement la même que celle du précédent, à l'exception que les temps appliqués sont différents. Cependant, la deuxième est fondamentalement différente puisqu'elle implique une conversion binaire des données. Celle-ci permet deux choses. Premièrement, on peut récupérer les temps exacts de début et de fin de l'activité sans être limité au temps des fenêtres glissantes. Deuxièmement, cela permet de ne pas se faire trop influencer par le bruit capteur. Par exemple, si un utilisateur utilise la toilette pendant 21 secondes, on veut considérer uniquement ces secondes et oublier les temps avant et après celles-ci. Dans les faits, une moyenne et un écart-type devraient être les meilleures caractéristiques pour gérer ces cas, mais ils sont hautement influençables par des données très disparates. En effet, comme le bruit capteur se crée principalement lorsqu'une personne passe devant la toilette sans s'y arrêter, la mesure du capteur est bien supérieure à ρ_2 , ce qui change drastiquement la moyenne calculée. Donc, ces caractéristiques ne sont pas les plus cohérentes dans notre cas. Pour régler ce problème, nous avons décidé d'appliquer une conversion binaire sur les données ; si la mesure est dans l'intervalle $[\alpha, \beta]$, un « 1 » est ajouté, sinon un « 0 ». Ensuite, les 0 encadrant la suite de 1 sont supprimés et les vraies données sont récupérées pour le 1 sauvegardé. De fait, nous avons aussi récupéré les temps exacts de

l'activité. Maintenant que nous avons l'activité principale isolée, il est tout de même possible d'avoir du bruit au sein de celle-ci. C'est pour cette raison que nous calculons la moyenne λ et l'écart-type σ_λ des fenêtres combinées pour les comparer respectivement à α et à $1,75 \times \alpha$ (valeur trouvée expérimentalement). Si $\lambda < \alpha$ ou que $\sigma_\lambda > 1,75 \times \alpha$ (ou s'il n'y a plus qu'une valeur restante), la reconnaissance potentielle est supprimée.

Ces opérations nous laissent alors avec une série de potentielles activités qui sont ensuite fusionnées de la même manière que pour l'algorithme précédent, mais avec un écart maximal de 30 secondes au lieu de 60 secondes. Pour conclure cette partie, le pseudo-code de cet algorithme est donné ci-après (Algorithme 5.2).

5.3 TESTS ET RÉSULTATS

Afin de vérifier que les dispositifs intelligents étaient capables de bien reconnaître les activités et puissent être acceptés par des personnes lambda dans leur habitation, nous avons mené une expérimentation. Celle-ci a été approuvée par le Comité d'Ethique de la Recherche de l'UQAC avec le numéro de dossier 2019-200 (voir annexes).

Les dispositifs ont été testés avec 8 participants, 5 hommes et 3 femmes, âgés de 22 à 29 ans. Ils étaient tous des adultes en bonne santé sans problème moteur ou cérébral. Au total, plus de 5 millions de secondes de données ont été enregistrées pendant l'expérimentation (59 jours de données pour la toilette et la douche combinées). De plus, même si une majorité des participants étaient déjà habitués avec les nouvelles technologies, certains n'avaient aucune connaissance de ce domaine particulier. Enfin, les participants devaient donner (ou non) leur

```

1  $\alpha \leftarrow \max(20, \rho_1)$ ;
2  $\beta \leftarrow \rho_2$ ;
3 array  $\leftarrow$  nouveau tableau de détections;
4 tant que de la nouvelle donnée arrive faire
5   Attendre pour  $T - T_\theta$  nouvelles données;
6   window  $\leftarrow T_\theta$  données reçues +  $(T - T_\theta)$  dernières données collectées;
7   M  $\leftarrow$  moyenne(window);
8   cpt  $\leftarrow$  0;
9   Ind1, Ind2  $\leftarrow$  0;
10  si  $\alpha < M < \beta$  alors
11    Add  $\leftarrow$  true;
12    cpt  $\leftarrow$  0;
13    Ind1  $\leftarrow$  index de window;
14  sinon
15    si Add alors
16      cpt  $\leftarrow$  cpt + 1;
17    sinon
18      si Add et cpt=5 alors
19        Ind2  $\leftarrow$  index de window;
20        Ajouter les objets de  $i = \text{Ind}_1$  jusqu'à  $i = \text{Ind}_2$  dans array;
21        Add  $\leftarrow$  false;
22        cpt  $\leftarrow$  0;
23      fin
24    fin
25  fin
26  data  $\leftarrow$  dernier(array);
27   $\lambda \leftarrow$  moyenne(data);
28   $\sigma_\lambda \leftarrow$  ecart_type(data);
29  si  $\lambda < \alpha$  ou  $\sigma_\lambda \geq \alpha \times 1,75$  alors
30    Supprimer data de array;
31  fin
32  Combiner les reconnaissance de array avec moins de 30 secondes de
    différences;
33 fin

```

Algorithme 5.2 : Reconnaissance d'activités pour les activités de la toilette

consentement afin de diffuser les données : le jeu de données final est disponible sur le site *GitHub* indiqué à la Section 5.2.

Une fois qu'un participant avait accepté de participer à l'expérimentation, il devait nous rencontrer, afin de recevoir les instructions et le kit de dispositifs (voir Figure 5.2a). Il devait ensuite retourner chez lui, installer le système et calibrer chaque dispositif lui-même (un guide d'installation était donné afin de s'y référer, si les indications données à la rencontre n'étaient pas suffisantes). La calibration devait être effectuée par le participant puisqu'il ne serait pas cohérent d'envoyer un membre de l'équipe de recherche dans chacune des habitations avec des dispositions différentes. En effet, comme chaque salle de bain peut être très différente d'une autre, le kit a pu être testé dans plusieurs configurations différentes, la rendant alors plus fiable. Pour continuer, il était demandé au participant de ne pas changer ses habitudes de vie, de ne pas se laisser influencer par la présence des dispositifs dans son habitation. Évidemment, leur présence changeait légèrement leur comportement au départ, mais les résultats ne devraient pas en être affectés, à moins évidemment d'un événement connexe sans relation avec l'expérimentation. Cette phase durait en moyenne 10 jours (± 2 jours). Pendant cette phase, les dispositifs enregistraient constamment les données avec leur temps d'apparition pour permettre des analyses plus poussées après coup. En parallèle, les dispositifs exécutaient leur algorithme, en temps réel, pour reconnaître les activités réalisées. Afin de pouvoir confirmer l'exactitude du système, il était également demandé au participant de noter (date et heure) chaque activité réalisée impliquant la toilette ou la douche/baignoire. Pour finir, à la fin de l'expérimentation, deux questionnaires étaient donnés au participant, respectivement sur la facilité d'installation du système et sur l'acceptabilité de celui-ci.

Les résultats de l'expérimentation seront présentés en quatre parties : 1) le taux de reconnaissance d'activités ; 2) comment nous avons recherché les meilleurs paramètres pour

les algorithmes ; 3) à quel point est-ce que les détections sont précises en termes de temps ; et 4) comment a été perçu le système par les participants.

5.3.1 RECONNAISSANCE D'ACTIVITÉS

Le premier problème à résoudre dans cette masse de données est le choix de mesures de performance. En effet, comme la quantité de données est immense, de simples (mais efficaces) mesures comme l'exactitude ne suffiraient pas pour indiquer une bonne performance de notre système (Ben-David, 2007; Sokolova *et al.*, 2006). En effet, comme le nombre de Vrai Négatif (VN) est bien plus important que le nombre de Vrai Positif (VP) combinés avec les Faux Positif (FP) et Faux Négatif (FN). Dans notre cas, les VN représentent 98,56 % des résultats, rendant alors l'exactitude non cohérente, puisqu'un classer les classant tous comme étant négatifs aurait quand même une exactitude très élevée. De ce fait et pour assurer la qualité du travail réalisé, les mesures choisies sont la Précision, le Rappel et le F-Score.

Nous avons extrait les matrices de confusion réalisées via la comparaison entre les données observées du dispositif et celles indiquées sur les notes des participants. Les deux matrices de confusion, respectivement pour la toilette et pour la douche, sont disponibles dans les Tableaux 5.1 et 5.2. Les données indiquées montrent le nombre de secondes réparties dans chaque catégorie (VN n'indique « aucune activité »). Avec ces deux matrices, nous pouvons extraire les mesures sélectionnées, illustrées dans le Tableau 5.3.

| | Déteeté | Non Déteeté |
|-------------|---------|-------------|
| Attendu | 40,508 | 3,161 |
| Non Attendu | 866 | 2,694,045 |

Tableau 5.1 : Matrice de confusion pour le dispositif de la toilette (Chapron *et al.*, 2020)

| | Déecté | Non Déecté |
|-------------|--------|------------|
| Attendu | 27,522 | 772 |
| Non Attendu | 0 | 2,375,246 |

Tableau 5.2 : Matrice de confusion pour le dispositif de la douche et de la baignoire (Chapron *et al.*, 2020)

| Caractéristique | Toilette | Douche |
|-----------------|----------|--------|
| Précision | 0,9791 | 1,0000 |
| Rappel | 0,9276 | 0,9727 |
| F-Score | 0,9526 | 0,9862 |

Tableau 5.3 : Caractéristiques de classification extraites (Chapron *et al.*, 2020)

Dans cette étude, la Précision est la mesure la plus importante puisqu'elle implique des activités qui n'ont jamais été réalisées (selon l'habitant), mais qui auraient tout de même été détectées par le dispositif. Comme observé dans le Tableau 5.3, la douche n'a jamais eu ce problème (Précision de 1) tandis que celui de la toilette en a une excellente de 0,9791,

5.3.2 RECHERCHE DES MEILLEURS PARAMÈTRES

Dans le cas d'une utilisation en temps réel, le choix de la taille de la fenêtre et de son chevauchement est extrêmement important puisqu'il est déterminant dans la performance des algorithmes qui en découleront. Dans notre cas, comme le temps passé à réaliser les activités reliées à la douche/toilette varie énormément d'une personne à l'autre, il est difficile d'estimer les paramètres avec une précision satisfaisante. Ainsi, pour essayer de déterminer les meilleurs paramètres possible, nous avons réalisé une recherche itérative parmi différentes tailles de fenêtres et de chevauchements. Pour ce faire, nous avons appliqué les algorithmes mentionnés plus tôt avec des tailles de fenêtre allant de 5 secondes à 120 secondes (avec un pas de 5 secondes) et un chevauchement de 0 % à 100 % (avec un pas de 5 %). Aussi, comme les temps d'activités sont très différents d'une maison à l'autre, nous avons fait cette étude

indépendamment des résultats d'autres maisons. Un exemple de ces analyses pour la toilette peut être observé à la Figure 5.5 avec comme mesure le F-Score et dans la Figure 5.6, où nous observons la variation de temps d'activité en fonction de ces paramètres. Les Figures 5.7 et 5.8 sont leurs équivalents, mais pour les activités de la douche. Pour chaque graphique, chaque courbe représente un chevauchement différent allant de 0 % (lignes foncées) à 100 % (lignes claires).

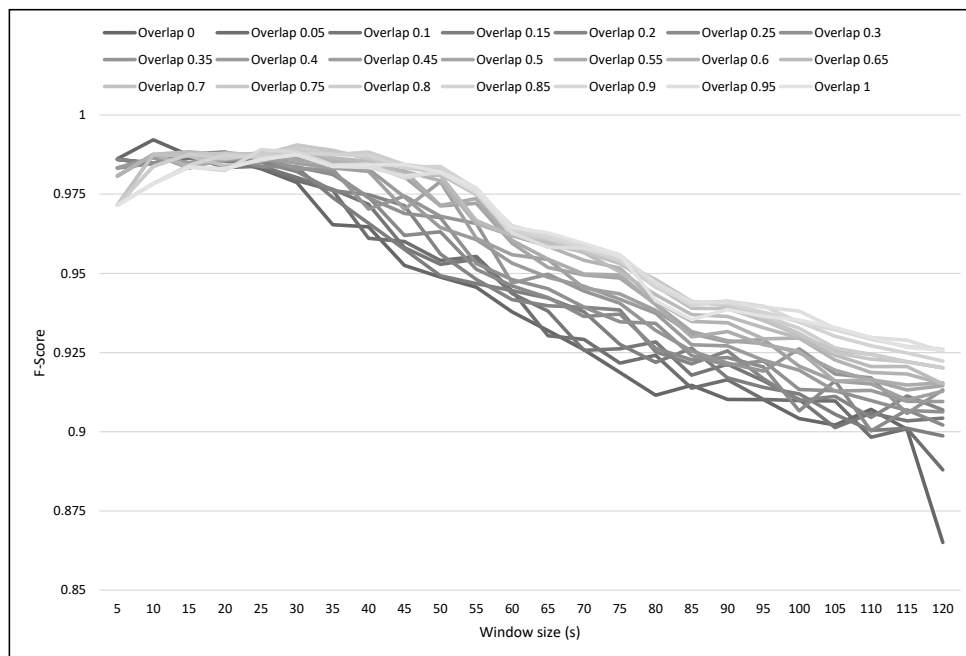


Figure 5.5 : F-score pour l'analyse de la toilette dans une maison (Chapron *et al.*, 2020)

Après une analyse de tous les graphiques (voir le répertoire *GitHub* pour pouvoir tous les observer), nous avons pu déterminer les paramètres optimaux : une fenêtre de 30 secondes avec un chevauchement de 80 % pour la toilette et une fenêtre de 20 secondes avec un chevauchement de 75 % pour la douche.

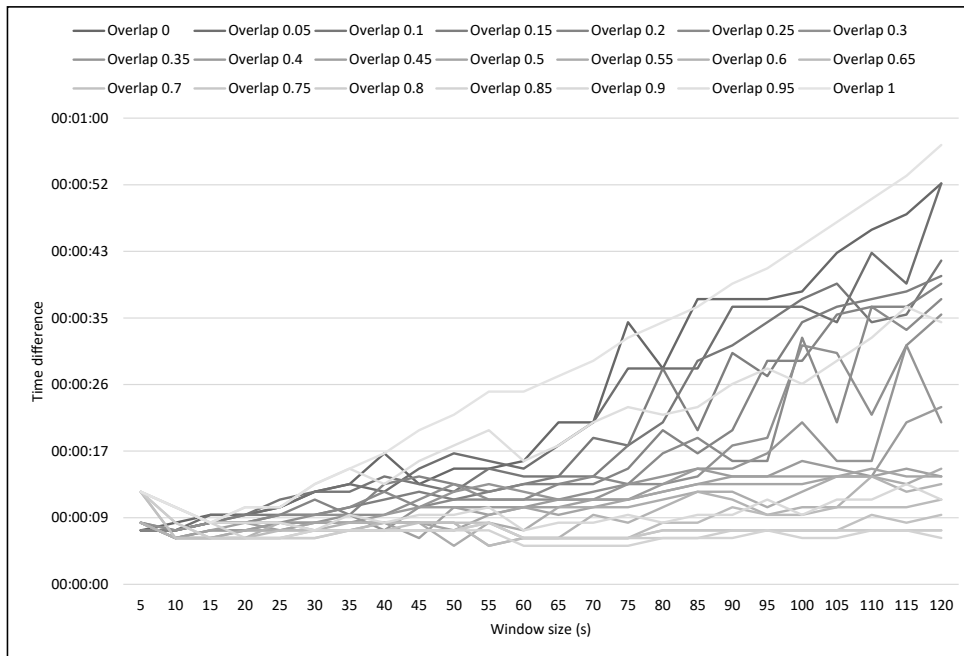


Figure 5.6 : Différence de temps pour l'analyse de la toilette dans une maison (Chapron *et al.*, 2020)

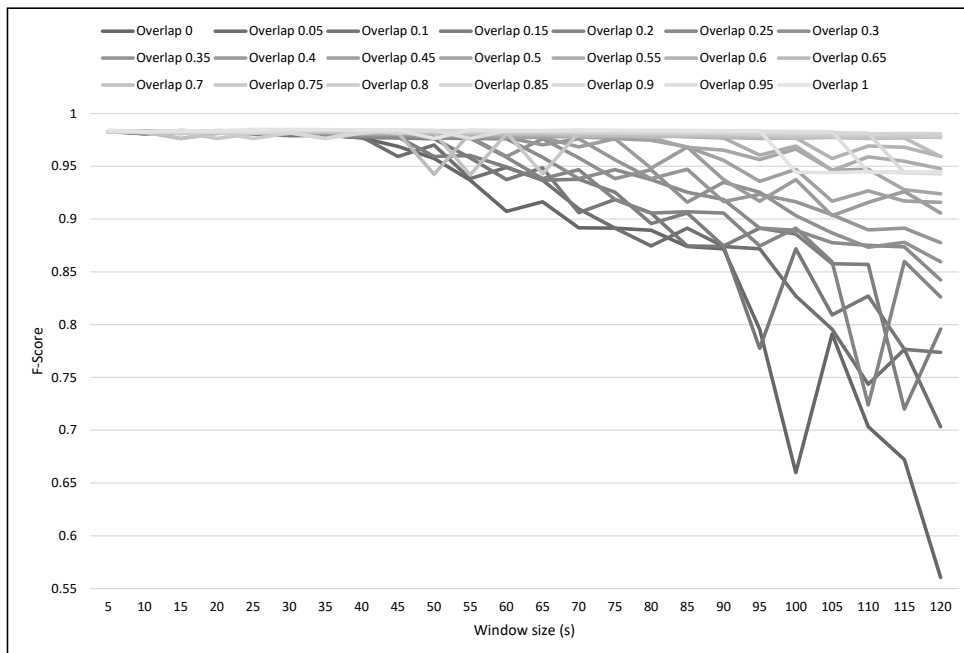


Figure 5.7 : F-score pour l'analyse de la douche dans une maison (Chapron *et al.*, 2020)

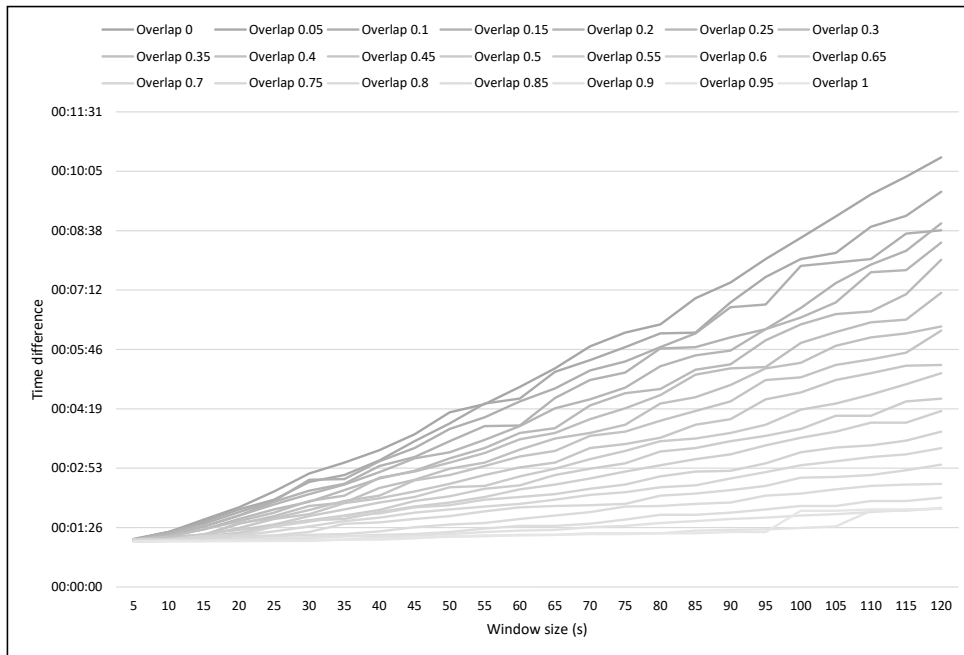


Figure 5.8 : Différence de temps pour l’analyse de la douche dans une maison (Chapron *et al.*, 2020)

5.3.3 PRÉCISION DES DÉTECTIONS

Dans cette étude, un bon taux de reconnaissance n’est pas suffisant. En effet, il est important de pouvoir détecter quand une activité survient, mais ici, mesurer correctement la durée de celle-ci est tout aussi important. Donc, nous devons nous assurer que le système détectait des durées similaires à celles inscrites sur les notes du participant. Les participants devaient ainsi chronométrer leurs tâches relatives, de la manière la plus précise qu’ils pouvaient et l’inscrire. De ce fait, nous avons notre valeur avec laquelle comparer nos résultats.

Pour confirmer la précision du système, nous avons extrait la différence (en secondes) entre le temps enregistré et le temps inscrit sur les notes, en utilisant l’équation 5.1, avec x_A étant le temps enregistré et x_B le temps inscrit dans les notes.

$$Time_Diff = |x_A - x_B| \tag{5.1}$$

Les différences de temps ont été calculées pour chaque expérimentation, pour la toilette et la douche, en utilisant les données présentées à la Section 5.3.2. Chacune des données est présente dans le Tableau 5.4. Il peut ainsi être facilement observé que la perte de précision est majoritairement reliée à la rigueur des participants à indiquer leurs temps. Également, les algorithmes 5.1 et 5.2, préalablement décrits, ont eu beaucoup de problèmes dans la Maison 3 puisque les habitants prenaient leur douche à un intervalle de moins d'une minute, occasionnant alors une fusion des deux reconnaissances, créant ainsi une différence énorme.

Tout bien considéré, la différence moyenne représente 137 ± 288 secondes pour la douche et 46 ± 110 secondes pour la toilette. Cependant, ces données sont excessivement reliées à la rigueur prise par les participants à indiquer les durées d'activité. De plus, une des maisons était régie par nos soins, pour créer une zone témoin (Maison 1). Les résultats y sont très proches de la vérité puisqu'ils ne diffèrent que de 6 secondes pour la toilette et 32 secondes pour la douche. Ces résultats sont très bons, considérant que la durée inscrite par les participants inclut régulièrement le trajet pour se rendre à la feuille de notation. Bien sûr, un bon moyen de préciser les résultats aurait été d'utiliser un chronomètre calculant automatiquement la durée des activités (par un bouton par exemple). Cependant, notre étude préliminaire a permis de conclure que le système était assez précis pour une preuve de concept.

| Activité | Maison #1 | | Maison #2 | | Maison #3 | |
|----------------------------|-------------|--------|--------------|---------|---------------|---------|
| Aller aux toilettes | 6 ± 22 | 3,90 % | 86 ± 261 | 62,32 % | 20 ± 47 | 22,22 % |
| Utiliser la douche | 32 ± 58 | 6,48 % | 70 ± 213 | 13,51 % | 310 ± 595 | 56,26 % |

Tableau 5.4 : Différence de temps (en secondes) et sa représentation en pourcentage entre les activités reconnues et les notes des participants, utilisant les paramètres définis à la Section 5.3.2 (Chapron *et al.*, 2020)

5.3.4 ACCEPTABILITÉ ET FACILITÉ D'INSTALLATION

Notre expérimentation nous a aussi permis de récupérer des rétroactions quant à l'installation du système (évaluation importante puisque nous voulons créer un kit de dispositifs facilement installables par une personne lambda) et l'acceptabilité d'un tel système. Comme mentionné dans la Section 5.3, nous avons donné deux formulaires à chaque participant. Les deux formulaires avaient respectivement 4 et 5 questions impliquant une réponse notant chaque critère sur 5,

Le premier formulaire demandant de la rétroaction sur l'installation du système avait 4 questions. La première (*A*) représentait leur connaissance de la technologie, 5 étant un expert et 1 un novice. La seconde (*B*) permettait d'évaluer la facilité d'installation selon eux, 5 étant une installation très simple et 1 étant une compliquée. La troisième (*C*) représentait une estimation du temps pris pour installer les dispositifs avec 5 étant un très long temps et 1 étant très rapide. La dernière (*D*) évaluait la complexité de calibration, 5 étant très complexe et 1 très simple. Les résultats peuvent être observés au Tableau 5.5. De plus, les participants ont évalué que le temps d'installation du système leur a pris environ 11 minutes. En analysant les scores, on peut facilement conclure que notre système est très simple à installer (*B*, *D*) et que ça ne prend que quelques minutes à faire (*C*).

Le deuxième formulaire permettait de récupérer de la rétroaction sur l'acceptabilité du système. En effet, comme ce kit particulier est installé dans la salle de bain et que c'est l'endroit où les habitants se sentent habituellement les plus vulnérables, cette information est cruciale. Nous avons donc demandé à tous les participants comment ils se sentaient en présence des dispositifs situés sur la toilette et dans leur douche, au début et à la fin de l'expérimentation. Ils devaient noter chaque critère sur 5, 5 étant un dérangement très important et 1 étant aucun dérangement du tout. Les deux premiers critères *A* et *B* représentent leur dérangement au

début et à la fin de l'expérimentation pour le dispositif de la toilette; les critères *C* et *D* sont les mêmes, mais pour le dispositif de la douche. Une dernière question était posée : est-ce que le participant se sentait observé par les dispositifs installés (*E*). Les résultats sont exposés dans le Tableau 5.5, où on peut clairement voir que même si des participants étaient dérangés par la présence des dispositifs au départ, ils s'y sont habitués et ne se sentaient plus observés/dérangés à la fin. Cependant, un commentaire récurrent fut que l'expérimentation était dérangeante en soi, non pas à cause des dispositifs, mais à cause de l'obligation de noter chaque activité réalisée dans le cadre de l'étude. Cette information a évidemment dû influencer les données de *A* et *B*.

| Système | A | B | C | D | E |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Installation | 4,2857 | 4,5714 | 2,0000 | 1,2857 | N/A |
| Acceptabilité | 2,0000 | 1,6250 | 1,7500 | 1,3750 | 1,8750 |

Tableau 5.5 : Scores correspondant à l'évaluation de l'installation du système et de son acceptabilité (Chapron *et al.*, 2020)

5.4 DISCUSSION

Après notre expérimentation et l'extraction des résultats, nous avons pu effectuer des ajustements relatifs à trois caractéristiques du logiciel des dispositifs développés (reconnaissance, meilleurs paramètres et précision) et deux à propos du modèle physique et de l'appréciation. La taille de fenêtre idéale pour la reconnaissance sur la toilette est de 30 secondes avec un chevauchement de 80 % et de 20 secondes avec un chevauchement de 75 % pour la douche. Avec ces paramètres, il peut être conclu que le taux de reconnaissance est excellent (96,94% de F-Score) pour plus de huit participants sur 30 jours, suggérant ainsi que notre système peut être effectif dans un environnement en temps réel. Cependant, la bonne reconnaissance ne suffit pas, il faut également pouvoir détecter la durée de l'activité précisément. Sur l'expérimentation témoin, les temps notés ne sont quasiment pas différents

des temps enregistrés ; 6 secondes de différence pour la toilette et 34 secondes pour la douche. De plus, comme un chronomètre adapté n'a pas été distribué aux participants, leur notation est forcément approximative. Aussi, comme il a été observé dans les jeux de données extraits, nous pourrions augmenter la précision des résultats, que ce soit en termes de reconnaissance ou de précision de temps, en personnalisant les paramètres (Section 5.3.2) en fonction de chaque habitation. Ce fait peut facilement être corroboré par le fait que chaque personne a des habitudes à propos de leurs activités reliées à la salle de bain d'un temps drastiquement différent (par exemple, certain prendront des douches de 20 minutes tandis que d'autres en prendront de 5 minutes).

Par ailleurs, un autre fait intéressant est la réaction des participants à propos de l'installation d'un tel système et de leur ressenti. Dans les formulaires qui leurs avaient été remis, ils ont estimé que le système était très facile à installer (4,57/5), même s'ils n'étaient pas tous confortables avec l'utilisation de la technologie (25 % n'étaient pas habitués). De plus, ils ont noté l'acceptabilité du système et leur dérangement sur 5 au début et à la fin de l'expérimentation. De ce fait, même si 37,5 % se sentaient dérangés au début, ils se sont tous familiarisés et n'avaient plus aucun ressenti à leur propos à la fin. Une bonne déduction serait que ces dispositifs ne sont pas conventionnels dans la vie de tous les jours, mais puisqu'ils sont peu intrusif, les habitants s'y habituent très vite.

Pour aller plus loin, comme nous voulons que le kit de dispositifs soit le plus accessible possible, nous avons partagé tout le nécessaire pour reproduire le kit et les algorithmes (schémas, jeux de données, électroniques, etc.) dans notre répertoire *GitHub*. Dans ce sens, nous voulons aussi expliquer que nous avons réalisé une première expérimentation qui fut un échec total. Toute personne voulant reproduire notre kit devrait avoir connaissance de ces infructuosité. Premièrement, le matériel utilisé pour les Raspberry Pi est très robuste, mais ce n'est pas forcément le cas des cartes SD qui leur sert de disque dur. Au moment de

l'expérimentation, la compagnie avait décidé de diminuer les coûts en distribuant des cartes SD moins chères, mais ce type de stockage est très sensible à la quantité de lecture/écriture, et plus que tout, aux redémarrages inopportuns ; une des maisons dans laquelle nous avons réalisé l'expérimentation s'est avérée avoir un stockage défectueux, perdant alors toutes les données collectées. Nous avons alors résolu ce problème complètement en utilisant des cartes SD de haute qualité. Deuxièmement, il nous a été rapporté que la longueur du fil d'alimentation entre la source de courant et le dispositif allant dans la douche devrait pouvoir être augmentée. En effet, nous avons utilisé les câbles USB allant avec les kits de Raspberry Pi, mais ceux-ci étaient plutôt courts. De ce fait, nous encourageons les futurs utilisateurs à utiliser des câbles plus longs, pour avoir la source de courant à au moins 5 mètres de la douche.

Enfin, les rétroactions que nous avons collectées pendant ces expérimentations nous ont permis d'améliorer le système. Une autre information a été souvent rapportée : les dispositifs devraient s'auto calibrer une fois branchés. Dans les faits, le dispositif de la douche pourrait être très facilement auto calibré puisqu'il ne nécessite aucune interaction utilisateur. Cependant, cela n'est pas possible pour le dispositif de la toilette. En regardant les données brutes émises du dispositif de la toilette et en les corrélant avec les reconnaissances effectuées, nous nous sommes aperçus que toutes les bonnes reconnaissances étaient celles où l'utilisateur était assis sur la toilette. Celles impliquant une utilisation debout (un homme urinant debout) étaient davantage affectées par le passage d'une personne devant le capteur plutôt que par son utilisation. Dans la majorité des cas, ce passage était dû à l'organisation de la salle de bain, qui est très souvent similaire à celui de la Figure 5.9 : le capteur de la toilette est toujours activé lorsqu'un habitant veut pouvoir accéder à sa baignoire/douche. Cette situation nous a occasionné beaucoup de problèmes au départ, raison pour laquelle nous avons décidé de ne pas considérer la position debout. Par conséquent, nous encourageons donc les personnes utilisant notre kit à ne détecter que les activités impliquant une utilisation assise de la toilette.

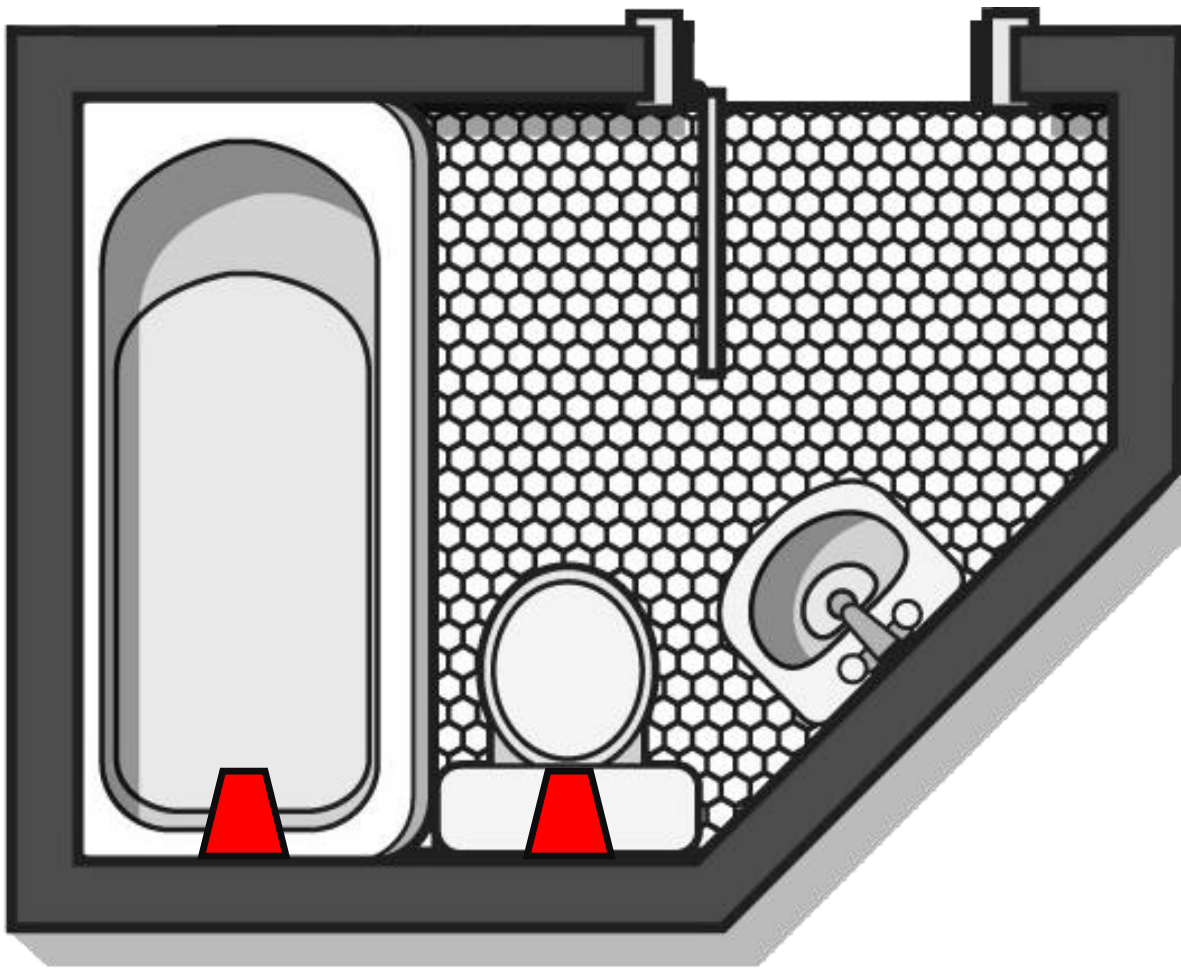


Figure 5.9 : Schéma d'une salle de bain typique (les zones rouges indiquent les modules, ne pas se fier à la taille) (Chapron *et al.*, 2020)

5.5 CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons proposé une première approche de système novateur conçu pour recevoir plusieurs dispositifs dans un contexte d'habitat intelligent. Cette approche permet, d'une manière unique et très simple, d'installer un système composé de deux dispositifs dans la salle de bain afin de reconnaître les activités liées à l'utilisation de la toilette et de la douche. Les technologies utilisées ici sont différentes de celles rencontrées habituellement, mais les résultats sont excellents. Cela permet à des personnes de surveiller les activités

réalisées dans la salle de bain, en termes de durée et d'occurrence. D'ailleurs, comme ces activités sont hautement corrélées avec le statut de santé d'une personne (Fonseca & Soares, 2008; Folstein *et al.*, 1985), il est légitime de penser que ce système pourrait être utilisé pour détecter de potentiels changements comportementaux chez un habitant, que ce soit dans une étude à court, moyen et long terme. De plus, chaque participant ayant pris part à notre expérimentation a indiqué que l'installation était très simple et que les dispositifs étaient très facilement acceptables, ce qui approuve leur utilisation dans la vie de tous les jours.

Nous avons mis en ligne toutes les informations nécessaires à la reproduction de ce projet afin que la communauté scientifique puisse bénéficier de nos travaux pour des recherches futures étant donné le succès démontré par le système.

CHAPITRE VI

MESURER LA VITESSE DE DÉPLACEMENT D'UN UTILISATEUR DIRECTEMENT CHEZ LUI

Le vieillissement de la population et les enjeux en découlant (problèmes de santé par exemple) ont fait en sorte qu'une partie de la communauté scientifique s'est mise à la recherche de signes précurseurs indépendants pour anticiper l'apparition de DCL (Déficience Cognitive Légère) (de l'anglais *MCI*). En effet, bien qu'elle soit irréversible, sa détection anticipée permettrait de ralentir la progression du déclin et de contrôler sa progression afin d'augmenter l'autonomie de la personne ainsi que sa qualité de vie. [Marquis et al.](#) ont étudié trois conditions spécifiques qui pourraient être reliées à la démence : diminution des facultés de mémorisation, le volume de l'hippocampe et la vitesse de marche ([Marquis et al., 2002](#)). Puisque les deux premières sont directement liées aux facultés cognitives de la personne et que notre équipe est spécialisée en technologies pour le bien social, nous avons décidé d'investiguer la vitesse de marche, afin de savoir si elle pourrait être facilement récupérée dans un contexte d'habitat intelligent. Comme de nombreux chercheurs ont démontré les corrélations existantes entre le déclin cognitif et la vitesse de marche ([Verghese et al., 2002](#); [Waite et al., 2005](#)) et que de nombreuses études appuient ce fait, il est raisonnable d'assumer qu'elle soit un prédicteur fiable et précis. En ce sens, si la vitesse de marche d'une personne ralentit au fil du temps, il est probable que la personne soit touchée par une maladie cognitive. Une étude de [Buracchio et al.](#) ([Buracchio et al., 2010](#)), réalisée sur 20 ans avec plus de 200 participants, a permis de conclure que bien que l'âge joue évidemment un rôle important dans la diminution de la vitesse de marche, les personnes atteintes de DCL ont une diminution encore plus importante que les personnes non atteintes.

Étant donné que la vitesse de marche est un prédicteur important de DCL, il serait bon de la relever régulièrement pour surveiller la progression de déficiences cognitives. Cependant, elle est habituellement relevée lors de rencontres avec un médecin, ce qui arrive annuellement pour une majorité des personnes âgées. Cependant, cette façon de faire complique beaucoup le suivi de sa performance pour détecter des potentiels déclin. En effet, pour ce faire, il faudrait récupérer cette mesure bien plus souvent qu'annuellement, pour avoir une meilleure interprétation à court terme. Une alternative intéressante serait de la collecter directement dans le foyer de la personne afin de permettre de récupérer la vitesse de déplacement de la personne continuellement, sans gêner ses activités, et ce, en utilisant l'Intelligence Ambiante (Bouchard *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2016). Le développement d'un dispositif capable d'évaluer la vitesse de marche d'une personne et de l'associer à la bonne personne serait un atout important dans un contexte d'habitation multi-résidents. De plus, il ne faut pas oublier que le but ici est de créer des dispositifs facilement installables. Ainsi, la création de dispositifs doit être orientée en ce sens.

6.1 PROBLÉMATIQUES

Un tel dispositif doit être capable d'évaluer correctement la vitesse de marche et de l'associer à la bonne personne lors d'une utilisation en contexte multi-résidents. Tout d'abord, nous verrons les méthodes utilisées de nos jours pour mesurer la vitesse de marche, les dispositifs permettant de faire cette mesure et enfin, comment est géré le contexte multi-résidents dans ce cadre d'utilisation. De plus, comme il s'agit de reconnaître la vitesse de marche, il est également intéressant d'observer les différentes manières de reconnaître les activités comme la marche, pour pouvoir coupler ces informations par la suite. Ces travaux ont été le sujet d'un article de journal publié dans *Springer Multimedia Tools and Applications* (Chapron *et al.*, 2021a).

6.1.1 MÉTHODES STANDARDISÉES POUR LA MESURE DE LA VITESSE DE MARCHE

Afin de vérifier la validité des vitesses de marche fournies par le dispositif, il faudra évidemment les comparer avec celles qui seraient obtenues avec des tests standardisés et éprouvés. De ce fait, il faut s'intéresser aux différents tests présents dans la littérature actuelle récente. Parmi eux, un exemple très connu est le test de [Buracchio et al.](#) ([Buracchio et al., 2010](#)) qui consiste à faire marcher un patient sur 30 pieds (9,14 m) tout en étant chronométré. Ce type de test est très commun dans la littérature ([Lau et al., 2018](#); [Salbach et al., 2015](#)). L'étude de [Wilson et al.](#) ([Wilson et al., 2013](#)) a particulièrement attiré notre attention. Les auteurs ont montré que le *Test de marche sur 5 mètres* (5MWT) serait suffisant pour mesurer la vitesse de marche correctement. Ils ont comparé leurs résultats avec le *Test de marche sur 6 minutes* (6MWT) ([Cooper, 1968](#); [Zapico et al., 2016](#)) et le *Test de marche sur 10 mètres* (10MWT) ([Fritz & Lusardi, 2009](#)). D'autres tests, comme le *Timed-Up-And-Go* (TUG) introduit par [Podsiadlo & Richardson \(1991\)](#) consiste à chronométrer une personne pendant qu'elle réalise la séquence d'évènements suivants : se lever d'une chaise, marcher trois mètres, faire demi-tour, marcher trois mètres vers la chaise, se rasseoir. Bien que ce test soit très utilisé, il ne serait pas approprié dans notre cas, puisqu'il ne peut pas être effectué sans intervention humaine.

Pour conclure sur ces méthodes, il est plus pertinent, pour nous, d'effectuer des tests n'incluant que la marche, puisque le dispositif mesurera la vitesse pendant le déplacement. De fait, le 5MWT serait à privilégier.

6.1.2 TECHNOLOGIES ACTUELLEMENT UTILISÉES

Beaucoup de méthodes différentes existent afin de récupérer la vitesse de marche d'une personne. La plus commune, celle de [Walsh et al.](#) et [Hayes et al.](#) est d'utiliser des PIR espacés d'une même distance et fixés au plafond dirigés vers le plancher ([Walsh et al., 2011](#); [Hayes et al., 2009](#)). Lors du passage d'une personne sous les PIR, la vitesse de marche est calculée via les temps de déclenchement des capteurs et la distance totale entre ceux-ci. Comme beaucoup d'études, [Hayes et al.](#) ont comparé leurs résultats avec la plateforme professionnelle GaitRITE (allée portable professionnelle et propriétaire pour détecter les potentielles anomalies de marche²⁷, mais coûte entre 43 000 et 73 000 CAD([Titianova et al., 2004](#))); ils obtenaient une concordance de mesure de 96 % en utilisant trois capteurs successifs. De manière similaire, d'autres équipes utilisaient cette méthode simplement pour classer la manière de marcher comme étant lente ou normale ([Kaushik & Celler, 2007](#)). D'autres chercheurs se sont intéressés à ce fonctionnement en appliquant la méthode à l'échelle de l'habitat intelligent (PIR installés dans chacune de pièce). Ils estiment, très grossièrement, la vitesse de marche d'une personne via les temps de déclenchement des capteurs dans les différentes pièces de l'habitat. De cette manière, ils arrivent à extraire une tendance dans la vitesse de marche de l'habitant (aucune information dans un contexte multi-résidents), sans pour autant avoir des résultats semblables à ceux qu'obtient un médecin.

[Stone & Skubic](#) ont utilisé une Microsoft Kinect (caméra de profondeur) pour tenter de la mesurer ([Stone & Skubic, 2013](#)). Évidemment, ce type de capteur requiert une puissance de calcul conséquente. Les auteurs indiquent que la méthode atteint des résultats très convaincants (très proches de celles calculées manuellement). De plus, ils sont capables d'associer la vitesse de marche à la bonne personne en utilisant sa taille pour l'identifier. Leurs résultats ont été obtenus d'une expérimentation réalisée sur 15 résidents vivant parmi 12 appartements.

27. <https://www.gaitrite.com/>

Cependant, les travaux de [Srinivasan et al.](#) ont montré que l'utilisation de la taille comme mesure biométrique en contexte multi-résidents est fiable seulement si les habitants ont tous au moins 7 cm de différence entre eux ([Srinivasan et al., 2010](#)). Cette condition peut être difficilement remplie pour plusieurs foyers.

[Lau et al.](#) ont utilisé des capteurs à *Ultra-Large Bande* (UWB) et ont comparé leurs résultats avec la plateforme GaitRITE. La méthode a été testée avec 7 participants sans problèmes de santé. Les vitesses de marche obtenues variaient de 50 à 150 cm/s du témoin (GaitRITE). Néanmoins, ils obtiennent une précision allant de 85 à 96 % dépendant de la vitesse de marche du participant. De meilleurs résultats sont obtenus avec les personnes qui marchent le moins rapidement.

Pour finir, d'autres équipes, comme celle de ([Yang & Li, 2012](#)), travaillent à extraire la vitesse de marche par l'entremise de capteurs inertiels. La majorité des recherches recensées dans la littérature consiste en l'utilisation de plusieurs *Centrale inertielle* (IMU) sur la personne (typiquement 3 ; sur la cheville, le genou et la hanche). La vitesse de marche est estimée via l'application de différents types d'algorithme d'apprentissage machine. L'équipe de [Yang & Li](#) obtient une erreur relative de 0,40 % pour une distance moyenne de 1,215 m. Il paraît inconcevable de demander à des personnes de porter constamment trois IMU dans la vie de tous les jours.

6.1.3 CONTEXTE MULTI-RÉSIDENTS

Comme on a pu constater dans les précédentes sous-sections, beaucoup de méthodes existent pour calculer la vitesse de marche d'une personne. Pourtant, bien que ces méthodes soient efficaces, elles partagent un même problème : il est très difficile de gérer plusieurs personnes sous un même toit, que ce soit pour obtenir une vitesse fiable ou pour associer

la vitesse à la bonne personne. C'est pourquoi la majorité de ces techniques ont été testées dans un contexte avec un seul résident. De plus, elles utilisent toutes (à l'exception de celle impliquant les IMU) des capteurs incapables de d'identifier la personne en train de marcher. De ce fait, l'association entre la vitesse de marche et la bonne personne devient complexe. Beaucoup de chercheurs tel que (McCowan *et al.*, 2005) utilisent une caméra pour répondre à ce défi, une fois la vitesse de marche calculée. Cependant, comme mentionné précédemment, les caméras sont habituellement très mal acceptées par les résidents. Une solution intéressante repose sur l'identification des personnes d'intérêt à l'aide de dispositifs électroniques, comme des bracelets, facilement identifiables sur un réseau sans fil (Chen & Tong, 2014; Wilson & Atkeson, 2005; Wang *et al.*, 2009). Évidemment, afin que l'identification ne soit pas la seule fonction du dispositif, il serait bon que ce ne soit pas sa seule utilité et ainsi la coupler avec d'autres fonctionnalités.

6.1.4 RECONNAISSANCE D'ACTIVITÉS SUR DES DISPOSITIFS PORTATIFS

Dans le cas d'une utilisation d'un bracelet intelligent, on peut assez bien reconnaître les différentes activités de mobilité de base (s'asseoir, courir, marcher) qu'une personne réalise, à l'aide d'algorithmes d'apprentissage machine, comme les réseaux de neurones (Mannini *et al.*, 2013), les forêts d'arbres aléatoires (Chapron *et al.*, 2018; Krasotkina & Mottl, 2015) ou d'autres nécessitant une extraction de caractéristiques complexes (Cleland *et al.*, 2013; Gupta & Dallas, 2014). Cependant, comme la reconnaissance s'effectue sur un dispositif embarqué, la puissance de calcul est très limitée, tout comme la charge de sa batterie. Une solution potentielle serait d'utiliser des algorithmes très simples, sans pour autant négliger un bon taux de reconnaissance. Chapron *et al.* (Chapron *et al.*, 2018) a récemment montré qu'avec une bonne extraction de caractéristiques, des algorithmes comme NaiveBayes ou C4.5 sont de très bons candidats. En effet, leur simplicité les désigne particulièrement pour

utilisation sur des systèmes embarqués manquant de puissance logicielle. En particulier, C4.5 semble être le meilleur classeur.

6.1.5 LOCALISATION INTÉRIEURE BASÉE SUR LES RSSI

Une autre utilisation possible d'un bracelet intelligent serait de permettre la localisation de la personne à l'intérieur du domicile. Dans cette optique, [Sadowski & Spachos](#) ont étudié quatre technologies sans fil fréquemment utilisées pour la localisation intérieure basée sur l'interprétation des forces de signaux reçues (RSSI), à savoir, le BLE, le Wi-Fi, le ZigBee et le LoraWan ([Sadowski & Spachos, 2018](#)). Leur étude montre que la plus performante est basée sur l'utilisation du Wi-Fi, suivi du BLE dont les auteurs mentionnent qu'il est plus adapté pour les systèmes embarqués. Ainsi, cette technologie semble idéale pour notre utilisation. Dans notre cas, utiliser le RSSI du BLE pour effectuer une localisation de proximité pourrait permettre à nos dispositifs d'identifier la personne qui passe devant ([Naya et al., 2005](#); [Sadowski & Spachos, 2018](#); [Thaljaoui et al., 2015](#)). Une étude de [Mokhtari et al.](#) indiquent qu'une utilisation du RSSI du BLE doit être bien réglée pour fonctionner : les dispositifs portatifs doivent émettre au moins un paquet par seconde et que, considérant la fluctuation de cette technologie, il faut environ 30 secondes pour avoir une quantité de données suffisantes.

6.2 UN CAPTEUR FACILEMENT INSTALLABLE

Au vu de la littérature et des défis qui existent à propos de la mesure de la vitesse de marche avec des capteurs, nous avons travaillé à la création d'un prototype à bas prix, tout en étant efficace et capable de gérer plusieurs habitants dans une même habitation. Notre but était alors de pouvoir mesurer la vitesse de marche de plusieurs personnes, directement dans leur habitation sans déranger leurs habitudes, et ce, en temps réel. Pour ce faire, nous avons décidé d'utiliser trois IRPS placés en ligne contre un mur (de manière similaire à [Walsh et al.](#),

qui lui les plaçaient au plafond) (Walsh *et al.*, 2011), puisqu'ils semblent être une très bonne option pour être installé facilement sans augmenter le prix. Dans cette section, le prototype sera détaillé pour faciliter sa compréhension et sa potentielle reproduction. En effet, un autre aspect de nos travaux est d'encourager l'utilisation de nos prototypes par les chercheurs de partout dans le monde.

Dans nos travaux, nous avons couplé plusieurs appareils, comme un nano-ordinateur Raspberry Pi 3 (Raspberry Pi Foundation, 2016) servant d'unité centrale de calcul et de routeur Wi-Fi et un bracelet intelligent (que nous avons nous-même créé) communiquant via la technologie BLE (Chapron *et al.*, 2018). Évidemment, puisque cette thèse explique le fonctionnement de l'ensemble du kit de capteurs de façon détaillée, le Chapitre 8 est consacré au bracelet, sa conception et son utilisation.

Ainsi, les prochaines sections vont se concentrer respectivement sur les composantes matérielles du dispositif intelligent, les protocoles qui seront utilisés, comment la donnée émergente sera gérée et dans quel contexte.

6.2.1 COMPOSANTE MATÉRIELLE

Tout d'abord, après avoir comparé plusieurs IRPS, nous avons choisi le GP2Y0A02YK0F²⁸, qui permet de mesurer une distance entre 20 *cm* et 150 *cm* devant lui, en ligne droite, en utilisant un faisceau de lumière infrarouge. De plus, les capteurs IRPS offrent un bon compromis entre le prix (18 \$) et la performance. Pour avoir un bon rendu de la vitesse de marche, nous nous sommes inspirés de la littérature et avons donc choisi d'utiliser trois capteurs IRPS séparés de la même distance les uns à la suite des autres.

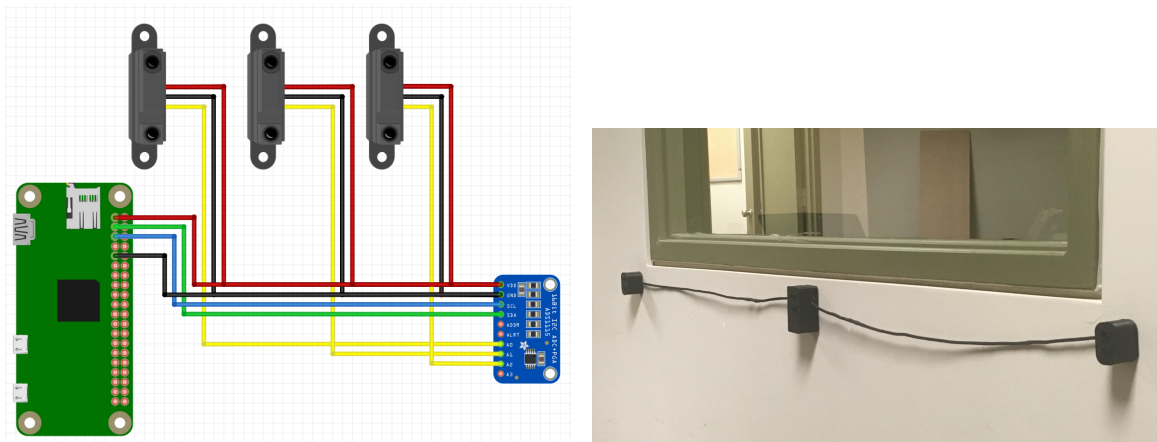
28. https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Infrared/gp2y0a02yk_e.pdf

Maintenant, une fois les capteurs choisis, un contrôleur capable de récupérer leurs données et de les interpréter est nécessaire. De plus, ce contrôleur doit disposer des technologies de communication sans-fil Wi-Fi et BLE. Nous avons porté notre choix, encore une fois, sur le Raspberry Pi Zero W ([Raspberry Pi Foundation, 2017](#)), qui est un dispositif fiable, disposant d'un système d'exploitation complet et de plusieurs protocoles de communication embarqués de base. Enfin, bien qu'elles soient compatibles, les données brutes émises par les capteurs IRPS sont analogiques, alors que le Raspberry Pi Zero W ne peut traiter que les données digitales. Par conséquent, un ADC, le ADS1x15²⁹ a été ajouté (même convertisseur que celui présenté dans le Chapitre 5).

Une fois les composants de notre dispositif intelligent choisis, nous avons assemblé un prototype en les combinant, pour que les données s'échangent correctement en utilisant la technologie I2C (seul protocole de communication de l'ADC). La Figure 6.1a permet de visualiser le schéma électronique nécessaire à l'assemblage des composants. De plus, nous avons conçu et imprimé un boîtier en 3D pour regrouper les composantes électroniques. Évidemment, l'ensemble des documents nécessaire à la reproduction du dispositif est disponible en ligne³⁰. Ensuite, comme [Walsh et al.](#) l'indique dans son article ([Walsh et al., 2011](#)), il est nécessaire d'avoir un espacement identique entre les différents capteurs et cet espacement doit être relativement grand. Nous avons donc relié les capteurs IRPS par des câbles et les avons enveloppés dans des gaines de taille fixe, comme on peut le voir sur la Figure 6.1b. Ils sont espacés de 60 cm, pour une longueur totale de 1,20 m.

29. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ads1115.pdf>

30. <https://github.com/LIARALab/SpeedSensor>



(a) Schéma du module de vitesse (réalisé avec le logiciel Fritzing) (b) Photo du module de vitesse installé avec son boîtier

Figure 6.1 : Dispositif intelligent de mesure de la vitesse de marche (Chapron *et al.*, 2021a)

6.2.2 GESTION DE LA DONNÉE ÉMERGENTE

Une fois installés, les capteurs IRPS émettent des données. Celles-ci doivent être traitées par le contrôleur afin de les convertir en données intelligibles. Pour ce faire, trois algorithmes se succèdent, réalisant respectivement les tâches : 1) convertir les données brutes des capteurs IRPS et les associer à son émetteur (capteur qui a émis les données, une fois celles-ci traitées), 2) vérifier si un passage devant le dispositif a été effectué et si oui, calculer la vitesse de marche et 3) associer la vitesse de marche avec la personne étant passé devant le dispositif.

Ainsi, en premier lieu, il faut convertir les données analogiques sortant des capteurs IRPS en données intelligibles (une distance en centimètres). Malheureusement, le fabricant ne donne aucune formule mathématique pour convertir ces données en distance. Cela nous a contraint à effectuer une calibration manuelle afin de récupérer une équation mathématique d'approximation assez précise. Pour ce faire, nous avons récupéré des données à différentes distances avec chaque capteur IRPS et nous avons effectué une régression polynomiale et avons obtenu un polynôme de degré 4 donné par l'équation (6.1) qui semblait être la meilleure

formule d'approximation avec un coefficient de détermination de $R^2 = 0,9912$. Cette première étape permettait alors de convertir le voltage des capteurs physiques en une distance en mètres. De plus, comme le capteur IRPS ne donne des valeurs fiables qu'entre 20 et 150 *cm*, un simple seuil a été ajouté.

$$f(x) = 35,274 x^4 - 244,1 x^3 + 618,21 x^2 - 704,42 x + 353,5 \quad (6.1)$$

Dans la fiche technique du capteur, il est également noté que les premières lectures du capteur doivent être ignorées, puisque les registres ne sont pas initialisés au départ et que la première lecture prend $38,3 \text{ ms} \pm 9,6 \text{ ms}$ avec un délai entre chaque nouvelle lecture d'au maximum 5,0 ms. Donc, nous avons décidé d'ignorer les lectures des deux premières secondes au départ du capteur afin d'éviter tout problème relatif aux premières lectures. De plus, comme notre dispositif est fait pour rester des semaines, voire des mois, chez le résident, ignorer deux secondes de lectures lors de l'installation est négligeable. Enfin, il reste l'étape de détection de l'activité. Cette étape se fait de deux façons différentes en fonction de l'emplacement du dispositif et sera abordée à la prochaine section.

6.2.3 DEUX CAS D'UTILISATION

Comme le capteur IRPS envoie un faisceau de lumière infrarouge et est destiné à être utilisé dans des endroits entre 20 et 150 *cm*, il se peut qu'en utilisation en aire ouverte, il rende des données erronées. L'envoi d'un faisceau de lumière en aire ouverte peut potentiellement rebondir sur une paroi et ne revenir qu'au capteur que plusieurs secondes plus tard, juste après l'émission d'un nouveau faisceau, faussant alors les données arrivant au capteur. Par conséquent, le traitement pour gérer ces données est très différent que son utilisation dans un couloir, ce pourquoi nous allons détailler les deux situations.

UTILISATION DANS UN COULOIR

La première étape pour une utilisation en couloir est de calibrer la borne supérieure (distance maximale) du capteur IRPS. Ainsi, ce dernier va prendre automatiquement des lectures pendant 60 secondes afin de déterminer la distance entre lui et le mur. Ensuite, une moyenne des distances mesurées sur les 60 secondes sera calculée de même que l'écart type. Ces valeurs indiqueront ainsi la borne maximale qui remplacera le 150 *cm* du fabricant (moyenne \pm écart type). Avec cette borne, on peut alors considérer que toutes valeurs n'appartenant pas à l'intervalle $[20, (\text{moyenne} \pm \text{écart type})]$ sont nulles et à ne pas prendre en compte.

Ensuite, afin d'être plus clair pour la suite de cette section, nous allons définir les variables suivantes : ω correspond à la borne maximale du capteur IRPS, α correspond au nombre minimal de détections pour considérer la séquence comme un évènement et γ désigne le temps maximal entre deux évènements tirés des capteurs IRPS. Une fois les valeurs de ces variables déterminées, l'algorithme consiste en une suite d'actions très simples. D'abord, un capteur IRPS envoie un évènement (détection) en temps réel lorsque la distance détectée se situe dans l'intervalle $[20, \omega]$. En parallèle, il est important de noter le temps exact auquel l'évènement a eu lieu. Chaque évènement est stocké dans un ensemble si les conditions α et γ sont respectées. Ensuite, si γ secondes se sont écoulées entre deux évènements sans que les capteurs ne détectent d'autres valeurs pouvant correspondre à un évènement, les données contenues dans l'ensemble sont alors analysées. Cette analyse permet de vérifier si les évènements semblent indiquer une marche logique devant les capteurs IRPS, si les détections se font d'une manière ordonnée et enfin de vérifier qu'une détection est basée sur une valeur réelle et non un faux positif. Une fois ces conditions complétées, l'algorithme prend le premier temps enregistré par le premier capteur IRPS et le premier temps du dernier capteur IRPS (à

ne pas confondre avec le dernier temps du dernier capteur IRPS) pour calculer la vitesse de marche. Le pseudo-code de cette procédure est présenté dans l'Algorithme 6.1.

Lors des expérimentations, nous avons essayé d'améliorer la précision du dispositif en prenant en compte la distance retenue par les capteurs IRPS lors du passage d'une personne devant ce dernier. Cela s'est avéré encore plus problématique. En effet, si lors du passage, le premier capteur détecte la jambe opposée au mur, le second détecte la jambe la plus proche et le troisième détecte encore la jambe opposée, on se retrouve avec un mouvement de diagonal qui augmente la distance parcourue et par conséquent fausse la vitesse collectée. De ce fait, nous indiquons aux lecteurs que cette potentielle amélioration ne mènera qu'à plus de problèmes incluant une vitesse moins fiable.

UTILISATION EN AIRE OUVERTE

Dans le cadre d'une utilisation en aire ouverte, la borne maximale du capteur IRPS est loin d'être celle donnée de 150 *cm* par le fabricant. Cependant, les valeurs de distance de plus de 150 *cm* fournies par le capteur IRPS n'étant pas dans la gamme de valeurs de confiance, celles-ci sont complètement ignorées. Placé dans une aire ouverte, les faisceaux de lumière infrarouge émis peuvent interagir avec n'importe quel élément placé face au capteur IRPS et ne revenir au capteur que bien plus tard, créant alors une fausse valeur avec la dernière émission du capteur. Comme ce problème est directement relié au capteur, il n'y a rien à faire pour l'éviter complètement. Cependant, nous pouvons réduire ces détections avec un filtre performant. Ainsi, nous définissons deux variables α et γ étant respectivement le nombre minimal de détections consécutives et le nombre maximal de valeurs nulles entre α détections

```

1  $\gamma \leftarrow$  temps maximal entre deux détections;
2  $\omega \leftarrow$  chrono lancé pour  $\gamma$  secondes;
3 array  $\leftarrow$  nouvel ensemble;
4 tant que des nouvelles lectures arrivent faire
5   si  $\omega$  est valide alors
6     si les conditions de validation sont vérifiées alors
7       StartTime  $\leftarrow$  Temps du premier item de array;
8       EndTime  $\leftarrow$  Temps du premier item de array opposé au premier;
9       SPEED  $\leftarrow \frac{1,20}{StartTime - EndTime} m.s^{-1}$ ;
10       $\omega \leftarrow$  réinitialiser le chrono;
11     sinon
12       Passer à la prochaine itération;
13     fin
14   sinon
15     si  $\varepsilon \leftarrow$  nouvelle détection alors
16       Ajouter  $\varepsilon$  à array;
17        $\omega \leftarrow$  réinitialiser le chrono;
18     fin
19   fin
20 fin

```

Algorithme 6.1 : Algorithme d'évaluation de la vitesse de marche dans un couloir

d'un capteur IRPS à l'autre. Une détection sera envoyée lorsque des valeurs seront comprises dans l'intervalle $[20, 100]$. Ces valeurs ont été déduites expérimentalement, puisque la majorité du bruit venant de la distance trop grande va créer des distances de plus de 100 cm. Pourtant, bien que la majorité du bruit soit filtré, il en existe encore qui soit dans l'intervalle de détection : c'est pourquoi α est utilisé. Si le nombre de détections n'atteint pas α , la séquence complète est annulée. Sinon, le système attend γ valeurs pour vérifier que le passage semble cohérent *gauche* \rightarrow *milieu* \rightarrow *droite* ou *droite* \rightarrow *milieu* \rightarrow *gauche* (il y a trois capteurs IRPS dans le dispositif). La seule situation dans laquelle un évènement complet (un passage devant le capteur) est considéré est lorsque la séquence est apparue et les capteurs physiques n'ont détecté aucune activité depuis au moins γ données. L'algorithme 6.2 résume le processus.

6.2.4 ASSOCIATION DE LA VITESSE DE MARCHÉ À UN POI

La dernière partie consiste à associer la vitesse de marche avec le POI qui l'a réalisée. Pour ce faire, nous devons suivre les déplacements des personnes à travers l'environnement. Ainsi, un autre module logiciel est ajouté au dispositif intelligent de mesure de la vitesse de marche afin de repérer continuellement les personnes les plus proches de lui, en utilisant le RSSI de la technologie BLE (via les bracelets intelligents portés par les POI). Ainsi, un historique est conservé pendant 60 secondes avant d'être remplacés par des nouvelles lectures.

Ensuite, lorsqu'un événement de détection de vitesse de marche se complète, le système interroge ce module logiciel afin de récupérer une liste des personnes présentes à proximité du dispositif intelligent au moment où le système avait détecté un passage (± 5 secondes). Cet ajout est important puisqu'il permet d'avoir une meilleure vue d'ensemble étant donné la précision du RSSI. Cela nous permet de nous approcher le plus possible du 30 secondes de lectures conseillées par la littérature. En fait, comme la majorité des personnes marche à plus de 1 *m/s* (Peel *et al.*, 2012) et que la longueur du dispositif est de 120 *cm*, la durée enregistrée n'aurait été que de quelques secondes (1-3 secondes), ce qui aurait été trop court pour obtenir un verdict fiable.

Une fois cette partie terminée, nous avons testé beaucoup d'hypothèses quant à la possibilité de traiter les RSSI pour retrouver le plus proche, tout en prenant en compte le bruit généré par cette technologie. Dans nos travaux précédents, nous avons pensé que l'écart-type serait une mesure fiable, puisque théoriquement, le bracelet intelligent le plus proche, serait celui avec la plus grande variabilité étant donné le déplacement devant le capteur. Pourtant, une mesure bien plus simple s'est révélée être beaucoup plus performante, c'est à dire la valeur maximale du RSSI. Donc, nous avons donc combiné deux critères pour réaliser l'association entre la vitesse de marche et le POI qui a réalisé cette marche. Le premier critère repose sur

L'utilisation de la reconnaissance d'activités présente sur le bracelet intelligent puisque pour que la vitesse soit associée à un POI, il fallait que ce POI soit en train de marcher. Ainsi, nous prenons en considération les activités reconnues par le bracelet avec les temps de détection du dispositif intelligent de mesure de la vitesse de marche. Cela permet d'écarter la majorité du bruit associé aux signaux BLE. Pourtant, il est possible d'avoir d'autres personnes détectées marchant autour du dispositif, surtout dans un contexte d'appartement relativement petit. Alors, nous ajoutons le deuxième critère utilisant la valeur maximale du RSSI pour trier les POI restants. L'algorithme 6.3 résume ce fonctionnement.

6.3 TESTS ET EXPÉRIMENTATIONS

Afin de valider notre dispositif, il a fallu le tester. La première étape était alors de tester la précision de la vitesse de marche détectée. Ensuite, nous avons réalisé les tests pour les associations de la vitesse de marche au bon POI, avec et sans la reconnaissance d'activités.

6.3.1 PRÉCISION DANS LA VITESSE DE MARCHÉ

Une bonne façon de tester notre dispositif est de le comparer avec un test très connu et très éprouvé par la communauté scientifique : le *Test de marche sur 5 mètres (5MWT)*. Nous avons ainsi pu tester notre dispositif sur 9 participants, auxquels nous avons demandé de marcher en suivant quelques consignes. Ayant conçu trois chemins (pour voir l'importance du placement du dispositif à travers la marche), chaque participant devait réaliser 5 fois chaque chemin à une vitesse normale, et deux fois à une vitesse lente/rapide. Au total, 1215 mètres

ont été parcourus. Nous avons également réalisé l'expérimentation dans un couloir simulé. La Figure 6.2 montre notre installation.

Il est important de noter que notre expérimentation a été approuvée par le Comité d'Éthique de la Recherche de l'UQAC, avec le numéro de dossier 2019-201 (voir annexes).

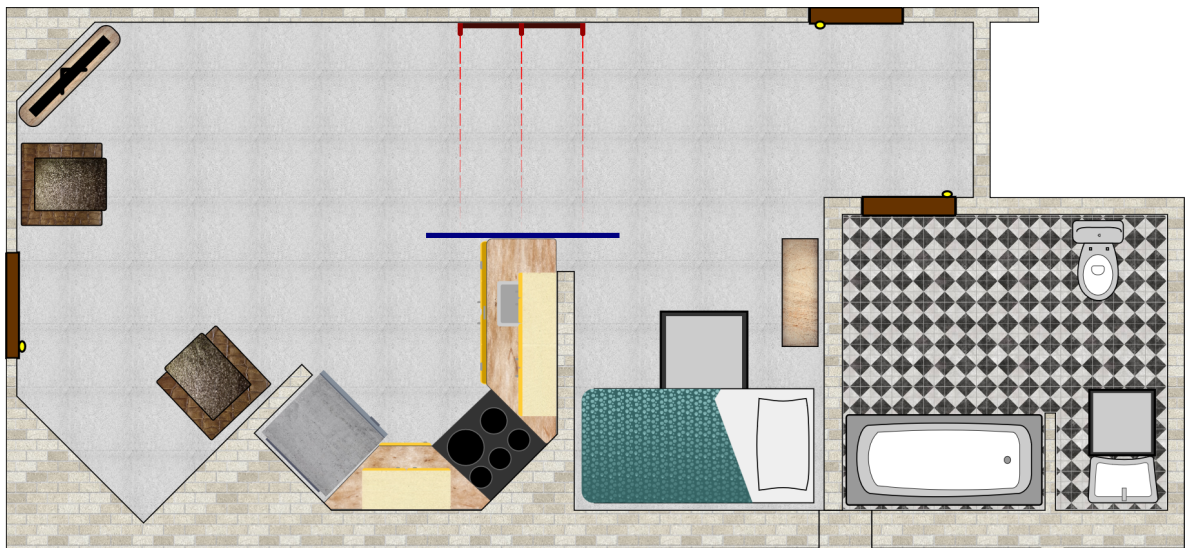


Figure 6.2 : Schéma de l'appartement avec le dispositif intelligent de calcul de la vitesse de marche installé (Chapron *et al.*, 2021a)

Notre première observation était que la position du dispositif dans le chemin n'importait absolument pas, indiquant alors qu'il pouvait être placé dans un endroit passant, que ce soit à la fin, au début ou au milieu de celui-ci.

Ensuite, nous avons constaté que la vitesse à laquelle les participants se déplaçaient avait un impact considérable. Après avoir comparé les vitesses enregistrées par le dispositif et celles enregistrées à la main, nous obtenons les trois Figures 6.3 , 6.4 et 6.5 (Chapron *et al.*, 2021a).

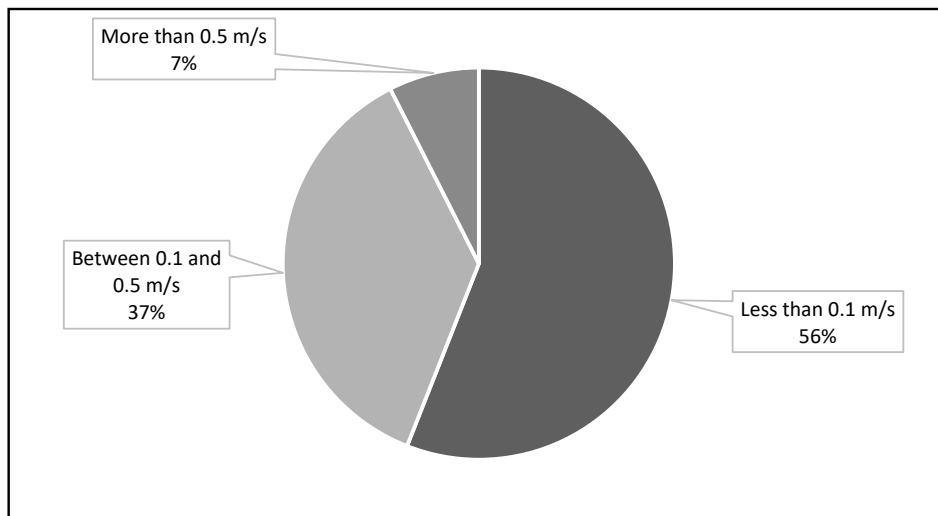


Figure 6.3 : Différences entre les vitesses mesurées et calculées manuellement : Vitesse normale
(Chapron *et al.*, 2021a)

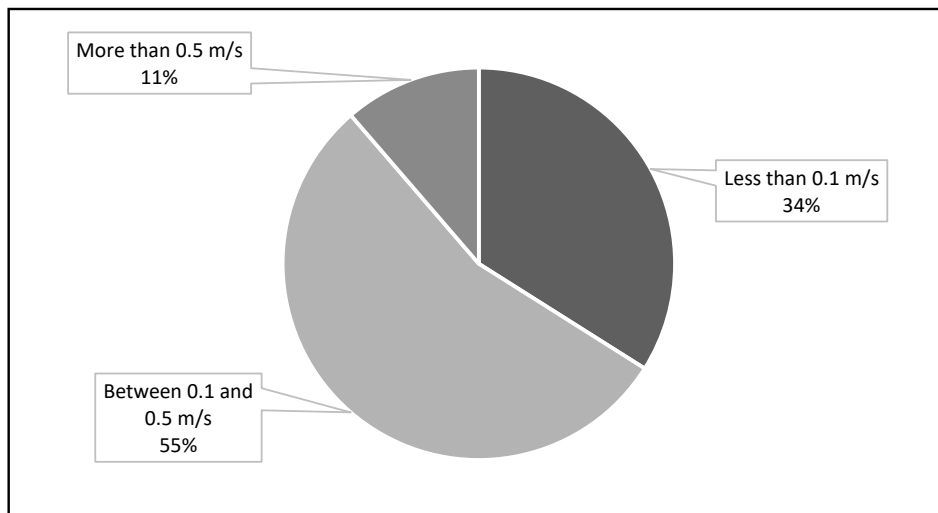


Figure 6.4 : Différences entre les vitesses mesurées et calculées manuellement : Vitesse rapide
(Chapron *et al.*, 2021a)

Comme on peut clairement le voir, la différence pour chaque vitesse est quasiment toujours sous les 0,500 *m/s* (les exceptions sont à cause de fausses valeurs émises par un capteur, ce qui représente 8,66 % de toutes les données). En effet, comme les exceptions représentent de très hautes valeurs, elles faussent complètement les moyennes/écarts-types

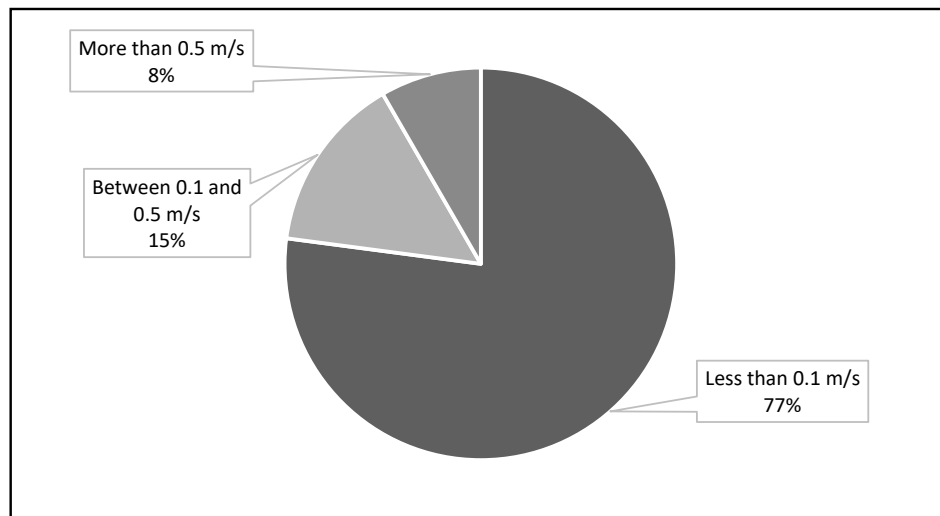


Figure 6.5 : Différences entre les vitesses mesurées et calculées manuellement : Vitesse lente (Chapron *et al.*, 2021a)

calculées pour la mesure de la vitesse de marche, allant de $0,093 \pm 0,078$ m/s à $0,168 \pm 0,258$ m/s. Ainsi, nous avons décidé d'utiliser la médiane à la place de la moyenne pour avoir une meilleure indication.

Donc, nous avons extrait les différences médianes pour chaque vitesse (lente, normale et rapide) et avons obtenu : $0,086$ m/s pour une vitesse normale, $0,140$ m/s pour une vitesse rapide et $0,043$ m/s pour une vitesse lente. Ces résultats sont résumés dans le Tableau 6.1, où les vitesses normale, rapide et lente sont respectivement représentées par les symboles : =, + et –.

Pour conclure, la concordance entre la vitesse mesurée manuellement et par le dispositif est parfaite dans 93,38 % des cas.

6.3.2 IDENTIFICATION DES POI

Une fois la vitesse calculée, il est nécessaire de l'associer au bon POI. Ainsi, nous avons essayé deux méthodes : une utilisant uniquement le RSSI du BLE et l'autre combinant le RSSI et la reconnaissance d'activités embarquée sur le bracelet intelligent.

IDENTIFICATION EN UTILISANT LE RSSI UNIQUEMENT

Une fois la vitesse mesurée, il faut récupérer les temps auxquels le dispositif intelligent a détecté le mouvement pour savoir quand chercher le POI. En moyenne, un passage était réalisé en 1,322 secondes, ce qui n'est clairement pas assez pour effectuer une bonne association étant donné le bruit présent dans les RSSI. Afin d'illustrer ce bruit, nous avons mesuré le signal RSSI à différentes distances. Comme on peut observer à la Figure 6.6, il est facilement possible de se tromper de résultat étant donné la fluctuation importante de la force du signal.

Pour tester l'association, nous avons placé plusieurs bracelets simulés (prototypes n'émettant que le BLE) au travers de l'appartement pendant que les participants faisaient l'expérimentation. Ainsi, nous avons pu récupérer les données et essayer différentes approches (voir Figure 6.7).

Une première approche est celle utilisant uniquement les RSSI. Avec cette méthode, nous n'avons réussi à obtenir qu'un faible 48 % de bonnes associations, ce qui nous a poussé à essayer une autre méthode : combiner la reconnaissance d'activités avec les RSSI.

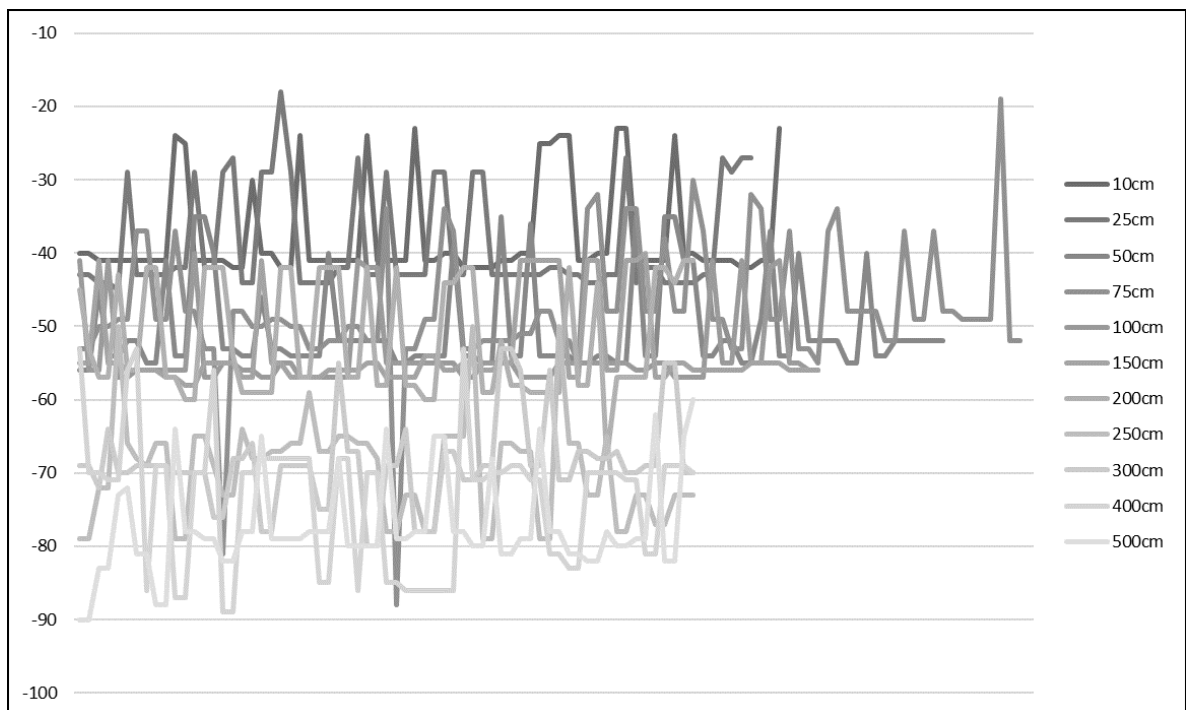


Figure 6.6 : Force (en dBm) du signal RSSI en fonction de la distance (Chapron *et al.*, 2021a)

IDENTIFICATION EN UTILISANT LE RSSI ET LA RECONNAISSANCE D'ACTIVITÉS

L'amélioration de la première approche en utilisant la reconnaissance d'activités a pu se faire, notamment grâce à nos anciens travaux sur le sujet (Chapron *et al.* (2018)). Ainsi, nous avons modifié notre algorithme pour prendre en compte l'activité reconnue par le bracelet intelligent avant de prendre en compte les différents RSSI, ce qui permet de faire un premier tri conséquent des différents bracelets aux alentours. Cependant, comme lorsque l'expérimentation avait eu lieu, nous n'avions pas prévu d'effectuer cette combinaison, le jeu de données qui en est sorti ne contenait aucune information à ce sujet. Par conséquent, nous avons simulé la reconnaissance d'activités en prenant en compte le taux de reconnaissance des activités de mobilité que nous avons obtenus lors de notre précédente étude. Le bracelet

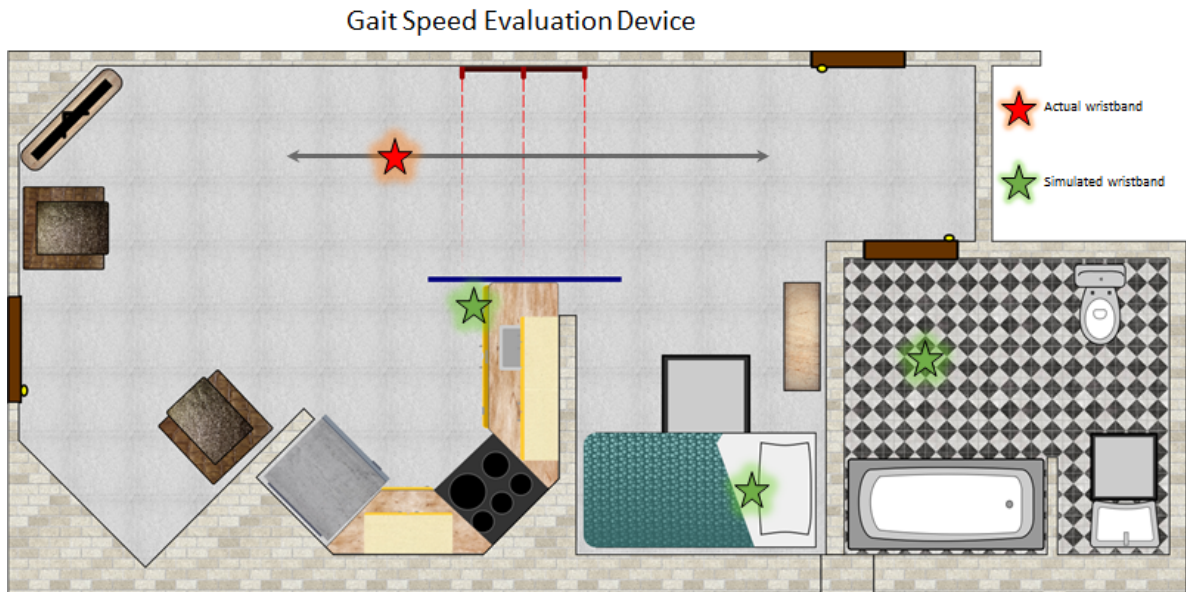


Figure 6.7 : Répartition des bracelets simulés lors de l'expérimentation (Chapron *et al.*, 2021a)

intelligent porté lors de l'expérimentation était le seul à devoir reconnaître l'activité *Marche*, et ce, à 89,22 % d'exactitude. Ainsi, le bracelet intelligent fournissait un bon verdict quant à la reconnaissance de l'activité *Marche* 89,22 % du temps et envoyait ce verdict, sinon il envoyait un verdict erroné (activité aléatoire autre *Marche*). Le même principe a été appliqué à chaque bracelet simulé, pour créer une bonne simulation des faux positifs. Avec cette approche améliorée, l'association est bien plus performante, passant de 48 % à 84 % (voir Figure 6.8b) via l'utilisation de l'Algorithme 6.3.

6.4 DISCUSSION

La différence substantielle entre la vitesse de marche obtenue et celle mesurée à la main peut être expliquée de deux façons. La première serait une vitesse variable sur la distance du trajet, pouvant être causée par le participant qui a marché à une vitesse différente devant le

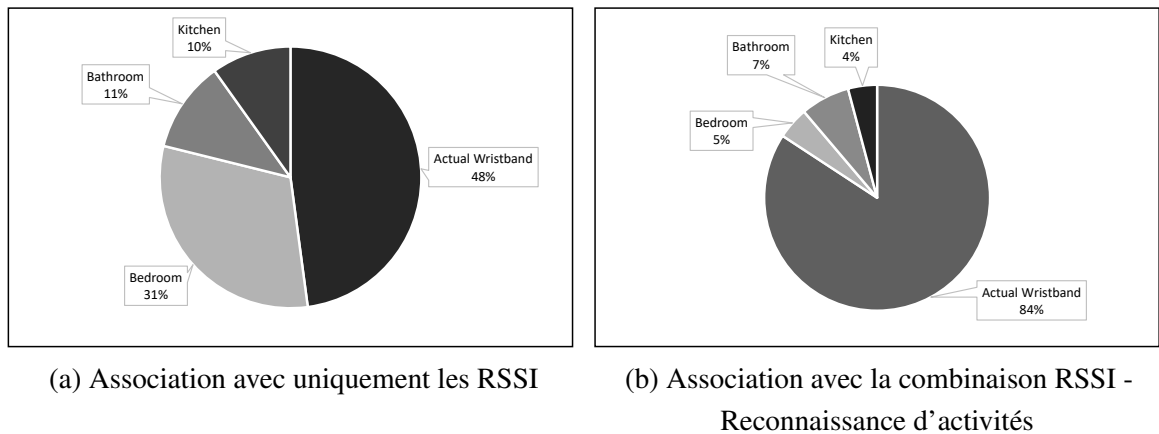


Figure 6.8 : Taux de bonne association entre une vitesse de marche et son POI (Chapron *et al.*, 2021a)

capteur que sur le reste du trajet. La seconde est due à l'erreur humaine, dans le sens où le chronomètre devait être lancé et arrêté manuellement et que l'écart moyen est de l'ordre d'un tiers de seconde pour la vitesse normale. Ces deux éléments sont complètement indépendants du dispositif intelligent, ce qui peut donc confirmer qu'il est performant pour réaliser une bonne évaluation de la vitesse de marche.

En ce qui concerne l'association au bon POI, nos premiers résultats étaient assez décevants. Cependant, comme nous l'avons observé dans la littérature, l'utilisation du RSSI comme indicateur de distance se fait habituellement sur des temps beaucoup plus longs que ceux que nous avons été contraints à utiliser (Li *et al.*, 2018). Notre déduction était que ce facteur était le plus important, bien que nous ne pouvions pas vraiment l'utiliser dans notre cas. C'est pourquoi nous avons combiné l'utilisation du RSSI avec celle de la reconnaissance d'activités pour augmenter drastiquement la qualité des résultats en atteignant maintenant un taux d'association de 84 %. Les 16 % restants de mauvaises associations sont dus à une combinaison entre des faux positifs lors de la reconnaissance d'activités et au bruit RSSI, pour lequel nous ne pouvons malheureusement rien.

6.5 CONCLUSION

Ce dispositif intelligent permet de mesurer la vitesse de marche d'un POI, directement dans son habitation, sans aucune assistance nécessaire et sans être intrusif pour sa vie privée. Ce dispositif a été décrit dans son entièreté, pour qu'il puisse être reproduit au besoin par quiconque dans un domaine similaire. Tous les composants sont disponibles commercialement, le logiciel est en source libre et les schémas/dessins 3D sont fournis sur notre *GitHub*³¹. Le dispositif peut être reproduit avec les éléments de développement pour la somme de 84 \$.

Comme démontré dans nos expérimentations, le dispositif est fiable : il permet de mesurer la vitesse de marche avec une précision de 93,38 %. De plus, il supporte, partiellement, une utilisation en contexte multi-résidents, tant que les différents POI portent un bracelet BLE intelligent. L'utilisation d'un bracelet intelligent effectuant une reconnaissance d'activités de mobilité augmente de beaucoup la qualité des associations, puisqu'il permet d'atteindre 84 % de bonnes associations.

31. <https://github.com/LIARALab/SpeedSensor>

```

1   $\alpha$   $\leftarrow$  nombre minimal de détections consécutives;
2   $\gamma$   $\leftarrow$  nombre maximal de valeurs consécutives nulles;
3  firstDetected  $\leftarrow$  null;
4  lastDetected  $\leftarrow$  null;
5  lastDetectedNumber  $\leftarrow$  0;
6  emptyDetected  $\leftarrow$  0;
7  tant que  $\kappa$   $\leftarrow$  valeurs de chaque capteur faire
8      si lastDetected est null alors
9          si  $\kappa$  a "gauche" ou "droite" alors
10             firstDetected  $\leftarrow$  lastDetected  $\leftarrow$   $\kappa$ ;
11             lastDetectedNumber  $\leftarrow$  1;
12         fin
13     sinon
14         si  $\kappa$  est le même capteur que lastDetected alors
15             lastDetected  $\leftarrow$  lastDetectedNumber + 1;
16         fin
17         si  $\kappa$  est vide alors
18             si lastDetectedNumber <  $\alpha$  alors
19                 Fausse détection !;
20             sinon
21                 si les données stockées incluent tous les capteurs alors
22                     Potentielle détection - à analyser plus;
23                 sinon
24                     emptyDetected  $\leftarrow$  emptyDetected + 1;
25                     si emptyDetected >  $\gamma$  alors
26                         Fausse détection !;
27                     fin
28                 fin
29             fin
30         fin
31     si (lastDetected est "gauche" ou "droite" et  $\kappa$  est le milieu)
32     OU ( $\kappa$  est opposé à firstDetected et lastDetected est le milieu) alors
33         si lastDetectedNumber <  $\alpha$  alors
34             Fausse détection !;
35         sinon
36             lastDetected  $\leftarrow$   $\kappa$ ;
37             lastDetectedNumber  $\leftarrow$  1;
38             emptyDetected  $\leftarrow$  0;
39         fin
40     fin
41 fin

```

Algorithme 6.2 : Algorithme d'évaluation de la vitesse de marche en aire ouverte

```

1  $\alpha \leftarrow$  RSSI maximal pour chaque bracelet;
2  $\delta \leftarrow$  Moyenne des RSSI pendant l'évaluation de la vitesse de marche;
3  $\delta_\sigma \leftarrow$  Écart-Type des RSSI pendant l'évaluation de la vitesse de marche;
4  $f(x)$  est la fonction pour savoir si le bracelet  $x$  est dans l'intervalle
    $[\delta - \delta_\sigma; \delta + \delta_\sigma]$  (utilisant la valeur maximale);
5 si seulement un bracelet a reconnu la marche ET  $f(\alpha_1)$  alors
6   | Retourner  $\alpha_1$ ;
7 fin
8 si plus d'un bracelet a reconnu la marche alors
9   |  $max \leftarrow -999$ ;
10  |  $current \leftarrow null$ ;
11  | tant que  $w$  est dans  $f(currentwristbands)$  faire
12  |   | si  $\alpha_w > max$  alors
13  |   |   |  $max \leftarrow \alpha_w; current \leftarrow w$ 
14  |   | fin
15  | fin
16  | si  $current$  est  $null$  alors
17  |   | Retourner "Aucun";
18  | sinon
19  |   | Retourner  $current$ ;
20  | fin
21 fin

```

Algorithme 6.3 : Algorithme d'association de la vitesse de marche au bon POI

Tableau 6.1 : Différence médiane, Vitesse médiane et différence moyenne pour chaque vitesse (Chapron *et al.*, 2021a)

| Caractéristique | Vitesse (=) | Vitesse (+) | Vitesse (-) |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Différence médiane (m/s) | 0,086 | 0,140 | 0,043 |
| Vitesse médiane (m/s) | 1,316 | 1,880 | 0,963 |
| Différence moyenne (s) | 0,327 | 0,372 | 0,225 |

CHAPITRE VII

UNE FAÇON DE SUIVRE LES UTILISATEURS DANS LEUR ENVIRONNEMENT

Depuis les dernières années, la quantité de recherches scientifiques reliées à la reconnaissance d'activités en habitat intelligent, dans un contexte multi-résidents, a considérablement augmentée. En effet, ce sujet de recherche devient d'une importance primordiale au vu de l'évolution de la démographie mondiale ([United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2019](#)). Le défi principal dans un tel contexte est de réussir l'association entre une activité détectée par les capteurs de l'habitat et le POI qui l'a réalisée ([Benmansour *et al.*, 2016](#)). Par exemple, si l'on suppose que deux PIR sont déclenchés au même moment dans deux salles différentes, bien que cela indique la présence de deux personnes dans l'habitat, il n'y a aucun moyen de savoir quelle personne est dans quelle salle. De plus, le contexte multi-résidents apporte notamment deux défis supplémentaires : la gestion des activités parallèles (des personnes, POI ou non, qui réalisent des activités différentes au même moment) et celle des activités collaboratives (plusieurs personnes, POI ou non, participant à une même activité). De ce fait, la complexité de la reconnaissance d'activités est considérablement augmentée et, ainsi, l'association des activités avec le POI les ayant réalisées devient essentielle afin d'éventuellement offrir l'assistance nécessaire à la bonne personne.

De nos jours, la grande majorité des approches dans ce contexte est soit basée sur la supposition que l'association de l'activité avec son POI est fournie ([Benmansour *et al.*, 2016](#); [Hao *et al.*, 2018, 2019](#)), soit sur une reconnaissance d'activités sans la capacité d'identification du POI les ayant réalisées ([Howedi *et al.*, 2019](#); [Prosegger & Bouchachia, 2014](#); [Singla *et al.*, 2010](#)). Bien entendu, dans une perspective d'offrir une assistance personnalisée à chaque individu vivant dans l'habitation, cette seconde catégorie de travaux n'est pas réaliste. De plus, supposer que l'information est déjà reliée au POI l'ayant créée relèverait d'un

choix vers la facilité accrue, puisque le défi clé de ce domaine est justement de réussir cette association. Comme il est quasiment impossible d'obtenir une association fiable avec la seule aide des capteurs ambiants, des chercheurs se sont tournés vers l'utilisation de technologies d'identification. Comme nous allons le voir dans la prochaine section, ces technologies ont toutes leurs limites en cas réel d'utilisation. De plus, la combinaison entre cette association et la reconnaissance d'activités que certains chercheurs avaient déjà en place leur a permis d'augmenter leur taux de reconnaissance (Alemdar & Ersoy, 2017; Roy *et al.*, 2016).

Dans ces travaux, nous apportons deux contributions à la communauté scientifique. La première est notre proposition de nouveau dispositif qui combine l'utilisation de PIR avec la technologie BLE, capable de détecter des mouvements tout en détectant les dispositifs adaptés (ayant une technologie BLE, comme notre bracelet, un téléphone intelligent, une montre intelligente, etc.) présents dans la pièce. Notre deuxième contribution est le système logiciel capable de traquer et d'identifier l'ensemble des individus portant un dispositif BLE à travers l'environnement, tant que chaque salle est équipée de notre PIR modifié. Ce système permet alors de gérer correctement les associations de données entre une activité réalisée et son POI, tout en étant le moins cher possible, robuste, fiable, précis, léger et facilement déployable. De plus, le système permet aussi de prendre en compte plus facilement les activités réalisées par des individus qui ne font pas parti des personnes à surveiller (invités chez la personne, colocataires, etc.).

Ainsi, afin d'avoir une meilleure vue de l'état actuel des travaux scientifiques, il est nécessaire de s'intéresser à la manière qu'utilise actuellement la communauté pour suivre un POI dans l'environnement, quels capteurs sont utilisés et les conditions qui les entourent (fonctionnement énergétique, protocole, etc.). Enfin, les travaux de ce chapitre ont été la cible d'une publication dans la *11th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2020)* (Lapointe *et al.*, 2020).

7.1 PROBLÉMATIQUES

Afin de mieux cerner les problématiques de ce sujet, nous allons explorer les différents travaux, répartis en trois sous-sections. Tout d'abord, comment identifier les POI à travers l'environnement, quelles technologies sont utilisées à l'heure actuelle, ainsi que leurs avantages/défauts.

7.1.1 IDENTIFICATION DES POI

Lorsque l'on parle d'identification d'individus dans un habitat intelligent, plusieurs méthodes rentrent en ligne de compte. On peut alors les distinguer en trois catégories distinctes : capteurs utilisant des images, multitudes de capteurs pour reconnaître une signature électronique et enfin une trilatération d'un dispositif portatif. La première catégorie utilise des images récupérées par des caméras pour reconnaître les activités, mais aussi les individus en extrapolant des informations biométriques (taille, visage, etc.) (Srinivasan *et al.*, 2010; Nimmy *et al.*, 2018; Surie *et al.*, 2013). Le problème majeur avec ce type de données est évidemment relié à l'intimité des résidents, puisque des images sont prises régulièrement. La seconde catégorie basée sur une signature électronique repose sur une collecte de plusieurs types de capteurs, comme des microphones (Duffy, 2017; Umair Bin Altaf *et al.*, 2015), des radars UWB (Lau *et al.*, 2018; Mokhtari *et al.*, 2017a), des PIR (Hayes *et al.*, 2009; Lee & Shiroma, 2014) et/ou des capteurs à ultrasons (Mokhtari *et al.*, 2017b; Srinivasan *et al.*, 2010) pour apprendre une signature unique de chaque POI. Cependant, cette méthode présente également ses propres défauts, en particulier le fait que l'approche ne soit pas très précise et dépend fortement de la configuration de l'habitat ainsi que de la position des différents capteurs, rendant ainsi la méthode non généralisable. La dernière approche consiste à faire porter aux POI un dispositif pouvant être détecté à distance. Chaque dispositif peut être détecté par plusieurs capteurs intelligents à travers un environnement afin d'extrapoler sa position

(Chai *et al.*, 1604; Sadowski & Spachos, 2018; Li *et al.*, 2018; Thaljaoui *et al.*, 2015). Cette méthode a l'avantage d'être sûr de détecter un POI et de réussir à le placer assez précisément à travers l'environnement. Cependant, elle est généralement plus dispendieuses puisqu'elle ajoute un dispositif dans l'habitat. De plus, une multitude de technologies sans fil peuvent être utilisées, nous allons donc les décrire.

7.1.2 TECHNOLOGIES UTILISÉES À L'HEURE ACTUELLE

L'utilisation de technologies de communication sans fil permet de positionner un dispositif par rapport à plusieurs autres, par le biais d'une trilatération. Par exemple, dans les travaux de Ali *et al.* et Qi & Liu, ils utilisent le RSSI de la technologie Wi-Fi afin d'avoir une force de signal captée par plusieurs dispositifs (Ali *et al.*, 2019; Qi & Liu, 2017). Ces forces de signal sont ensuite utilisées pour estimer le positionnement du dispositif. Cependant, quasiment tous les systèmes de positionnement utilisant la technologie Wi-Fi ont besoin de plusieurs antennes et d'une phase d'authentification. De plus, les dispositifs portatifs utilisant le Wi-Fi sont très souvent uniquement des téléphones intelligents, cela nécessite que les POI doivent en avoir un en tout temps pour être suivis dans l'environnement.

D'autres équipes, comme celle de Huang & Chan (Huang & Chan, 2011) ont appliqué une technique similaire, mais en utilisant la technologie ZigBee, beaucoup plus adaptée à des dispositifs portatifs. Cependant, la technologie ZigBee n'est pas intégrée dans les appareils quotidiens, comme les montres et/ou bracelets intelligents, les tablettes et les téléphones intelligents, forçant alors l'utilisateur à garder sur lui un dispositif spécialisé pour cette tâche. D'autres protocoles ont aussi été considérés dans la littérature. Certaines équipes ont quant à eux utilisé la technologie RFID pour effectuer respectivement une localisation par proximité et une trilatération (Ni *et al.*, 2003; Ma *et al.*, 2017); ils ont réussi à obtenir une précision en dessous d'un centimètre en utilisant l'étiquette RFID comme étant le POI à suivre. Cependant,

la problématique principale reliée à cette technologie est son coût très élevé, puisque son lecteur et ses antennes coûtent environ 2 800 CAD.

Enfin, la dernière technologie utilisée à cet effet est la technologie BLE. Cette technologie est très exploitée dans le domaine des dispositifs portatifs et des habitats intelligents (Mokhtari *et al.*, 2018, 2017b; Thaljaoui *et al.*, 2015) puisqu'elle permet d'atteindre un coût faible, une autonomie énergétique accrue tout en étant très fiable. La méthode de positionnement introduite par Mokhtari *et al.* utilise beaucoup de dispositifs BLE, dans leur cas, des *iBeacons* (balises émettant un signal), qui sont portés par les POI. Des téléphones intelligents sont aussi dispersés au sein de l'habitat et servent de récepteurs aux signaux émis par les *iBeacons*. Cette manière de faire a permis d'établir un système de localisation simple, efficace, léger et facilement déployable. Cependant, le fait d'utiliser au moins un téléphone intelligent par pièce de l'environnement représente un investissement conséquent (600 CAD, pour une habitation de quatre pièces). De plus, cette dernière méthode ne permet pas d'avoir de l'information à propos des habitants qui ne sont pas des POI, qui peuvent créer des données impliquant des erreurs d'identification.

7.2 UN CAPTEUR FACILEMENT INSTALLABLE

Parmi les buts de ce projet de recherche, il y avait celui de concevoir et construire un dispositif capable de suivre approximativement les déplacements d'un POI à travers son environnement. Ainsi, nous avons étudié la littérature scientifique et les différents dispositifs actuellement utilisés pour réaliser cette tâche. La manière la plus efficace est celle d'utiliser un appareil portatif utilisant des technologies sans fil qui puisse être détecté par d'autres à travers l'environnement. Cependant, installer ce type de système dans l'habitation uniquement pour cette localisation par proximité semble excessif. Ainsi, nous avons décidé de combiner deux capteurs : les récepteurs des signaux BLE (RSSI) ainsi que des PIR. Avec cette combinaison,

nous avons un capteur intelligent capable à la fois de détecter du mouvement et de positionner relativement un POI ; les utilisations de celui-ci sont alors très nombreuses.

Afin de mieux comprendre son fonctionnement, ses composantes matérielles seront présentées ainsi que les différents modules que nous avons créés. Pour terminer, nous détaillerons la manière de gérer les données que les deux capteurs collectent. Bien entendu, un de nos buts étant de favoriser la recherche dans les habitats intelligents, l'ensemble de la réalisation est disponible en ligne³², pour que quiconque puisse reproduire ce dispositif.

7.2.1 COMPOSANTES MATÉRIELLES

Comme mentionné plus précédemment, chaque composant devait être le moins cher possible, sans pour autant négliger la qualité de l'information récoltée. En particulier, le capteur physique (le PIR) doit être très performant : nous avons sélectionné le capteur infrarouge passif de *Parallax Inc*³³, qui coûte environ 20 \$. Toute les tâches de calcul ont été confiées à une Raspberry Pi Zero W, nano-ordinateur identique à celui du Chapitre 5, qui reste dans les meilleurs en terme de processeur, fréquence, mémoire, connectivité, taille et prix.

Une fois les choix matériels réalisés, il a fallu s'assurer des connexions physiques, qui sont réalisées de façon digitale, par le biais d'un PWM. Une résistance ainsi qu'un transistor ont été ajoutés sur recommandation du constructeur du PIR. Le schéma de la Figure 7.1a démontre les branchements effectués.

Une fois le partie électronique terminée, nous avons conçu un boîtier en 3D afin de rendre le dispositif plus attrayant visuellement parlant. Dans les premières versions de celui-ci, un seul boîtier était présent, mais cela a créé beaucoup de problèmes avec le PIR, qui subissait

32. <https://github.com/LIARALab/PIRSensorWithBLE>

33. <https://www.parallax.com/product/555-28027>

des interférences dues aux signaux Wi-Fi émis par la Raspberry Pi Zero W. Ainsi, nous avons séparé les deux en deux boîtiers différents et avons ajouté une feuille d'aluminium mis à la terre autour du PIR, pour réduire les interférences (voir Figure 7.1b).

Au total, le dispositif proposé coûte environ 55 \$ (20 \$ pour le capteur physique, 15 \$ pour la Raspberry Pi Zero W et 20 \$ pour le stockage, le courant, l'électronique, etc.). Un autre point intéressant que nous avons ajouté est la possibilité de brider le PIR à l'aide de plusieurs cônes d'angles différents.

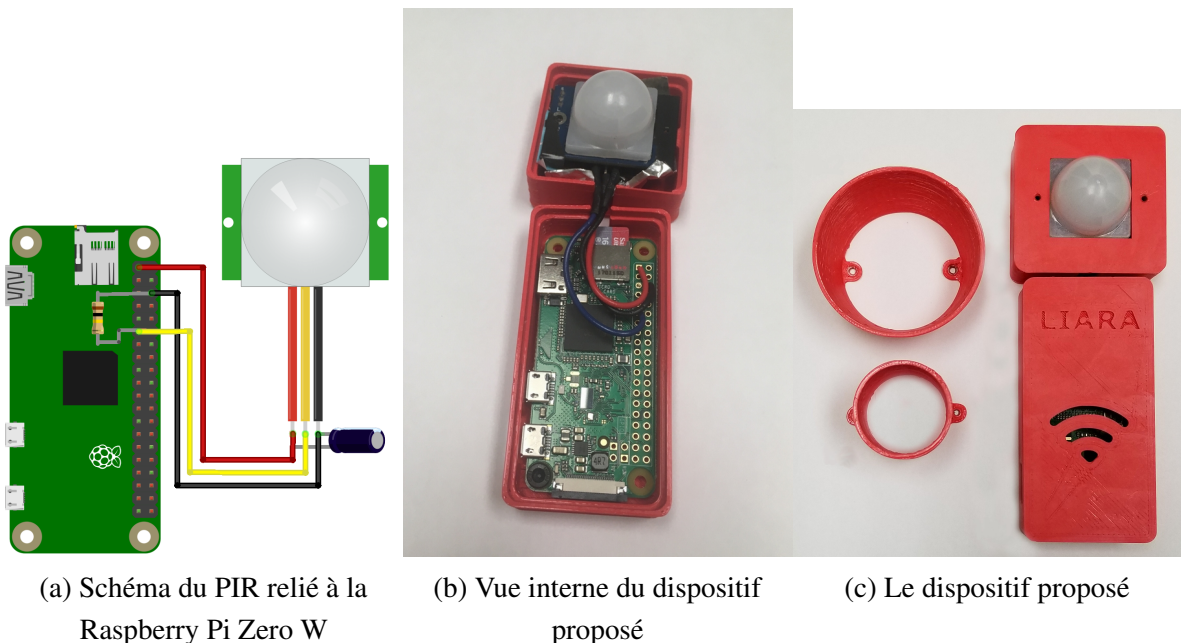


Figure 7.1 : Dispositif intelligent de capture de RSSI BLE et de mouvements (Lapointe *et al.*, 2020)

7.2.2 LES RESTRICTIONS DE VISION

Deux restrictions de vision du PIR ont été conçues et imprimées en 3D. Elles peuvent être observées dans la Figure 7.1c, sous forme de cônes. On y retrouve un cône moyen (angle

de 80 degrés), un cône restrictif (angle de 15 degrés) et le dispositif intelligent final. On peut, par ailleurs, observer les deux pas de vis de chaque côté du capteur, où viendra se placer le cône désiré.

Sans aucune restriction, le PIR a un angle de 180 degrés autour de lui, ce qui peut ne pas être adapté à certaines situations. Par exemple, dans un environnement dit « ouvert », si on veut capter les mouvements du salon sans pour autant réagir à ceux de la cuisine, ce n'est pas possible sans restreindre le champ de vision du capteur. Ainsi, on peut alors placer le capteur au plafond (ou sur un mur), avec le cône de 80 degrés, qui va alors empêcher le capteur de détecter tout changement à l'extérieur de son champ de vision restreint. Aussi, le cône plus restrictif peut, quant à lui, être utilisé pour des situations plus précises. Par exemple, si on veut observer les mouvements lorsqu'une personne quitte/entre dans son lit, on peut le placer au plafond, au-dessus du lit. Les utilisations pour ce dispositif sont très nombreuses.

7.2.3 GESTION DE LA DONNÉE

Afin de mieux gérer les données et les associations qui leur sont faites, nous avons segmenté le logiciel des capteurs intelligents en deux. La première collecte continuellement tous les RSSI autour du dispositif intelligent et la seconde est désactivée et ne s'active que lors d'un mouvement détecté par le PIR. À ce moment, la Raspberry Pi 3 recevant la détection PIR interroge la collecte de RSSI de tous les PIR pour avoir la liste des informations récupérées à plus ou moins 40 secondes de la détection. Sur l'ensemble des appareils ayant émis un RSSI, il faut alors calculer deux caractéristiques sur leurs valeurs absolues : la moyenne et l'écart-type. Ainsi, nous obtenons une liste de plusieurs appareils ayant chacun une moyenne et un écart-type de RSSI, qui seront alors utilisés pour déterminer le plus proche. Après un tri croissant par moyenne, la majorité des dispositifs seront écartés ; nous voulons uniquement les plus petites valeurs, puisqu'elles indiquent un signal plus puissant et donc, plus près.

Cependant, si plusieurs appareils ont moins de 25 % de différences entre eux, nous prenons celui avec l'écart-type le plus petit, puisqu'il indique une stabilité plus grande. Cet algorithme qui permet une localisation par proximité rapide ainsi qu'une association d'un POI avec une action détectée par le PIR est détaillé ci-après, dans l'Algorithme 7.1.

```

1  $W_{start}, W_{end} \leftarrow$  Début, Fin de la fenêtre;
2  $tag \leftarrow$  le dispositif BLE à suivre ;
3  $X_{ij} \leftarrow$  Matrice de RSSI où chaque ligne représente un PIR et chaque colonne les
   enregistrements par le PIR  $i$  d'un dispositif BLE;
4  $caract\_vect \leftarrow$  Vecteur de caractéristiques extraites pour chaque PIR ;
5 tant que  $a$  est dans  $i$  faire
6   |  $rss\_vect \leftarrow$  RSSI enregistré par le PIR actuel ;
   |   Prendre valeurs absolues de tous les RSSI dans  $rss\_vect$  ;
   |   Extraire les caractéristiques (moyennes, écart-type) de  $rss\_vect$  ;
   |   Ajouter les caractéristiques au vecteur  $caract\_vect$ 
7 fin
8 Trier les caractéristiques par moyenne croissante ;
    $best\_mean \leftarrow$  Première moyenne dans le vecteur ;
   Retirer les caractéristiques ayant plus de 25 % d'écart ;
9 si  $taille\ de\ features\_vect > 1$  alors
10  | Trier par écart-type croissant ;
11 fin
12 ;
13  $nearest\_PIR \leftarrow$  Première valeur dans le vecteur ;

```

Algorithme 7.1 : Algorithme d'association d'un POI à une action de PIR (Lapointe et al., 2020)

7.3 TESTS ET EXPÉRIMENTATIONS

Notre expérimentation a été approuvée par le CER de l'UQAC, avec le numéro de dossier 2019-220, Pour cette expérimentation, 8 hommes ont été recrutés, âgés de 22 à 38 ans et en parfaite santé.

7.3.1 MISE EN PLACE ET PROCÉDURE

L'expérimentation a eu lieu dans l'appartement intelligent prototype du LIARA, ayant une surface de 43 m^2 . Un dispositif intelligent de PIR a été installé dans chacune des salles suivantes : salon, cuisine, chambre et salle de bain. Afin de mieux illustrer la configuration de l'appartement et du placement des dispositifs intelligents, la Figure 7.2 présente l'ensemble.

On peut notamment distinguer les dispositifs 1 et 2 qui ont le cône restrictif de 80 degrés, suivi du 3 qui possède le plus restrictif et enfin le 4 qui n'en possède pas. Ils sont, par ailleurs, tous installés au plafond, sauf le 4 qui est installé sur le mur de l'entrée.



Figure 7.2 : Schéma de l'appartement avec les dispositifs intelligents PIR (Lapointe *et al.*, 2020)

Une fois l'environnement prêt, nous avons mené deux expérimentations. Notre première expérimentation ne nécessitait aucune interaction humaine, puisqu'il suffisait de placer un émetteur de RSSI BLE dans chaque pièce, afin d'avoir une idée de données statiques pour chaque zone. Ainsi, des dispositifs ont été placés pendant 90 minutes avant d'être retirés. La seconde expérimentation reposait sur le contexte multi-résidents. Ainsi, nous avons demandé à

deux personnes de réaliser des activités à travers l'environnement (selon une procédure fixée) simultanément, un portant un appareil émettant un RSSI. Un autre intervenait sans appareil (pour simuler un POI avec un invité). Les deux personnes devaient passer dans les quatre zones et y rester trois minutes à chaque fois. Chaque scénario durait environ 12 minutes. Le premier POI devait aller au salon et rester assis, ensuite aller dans la salle de bain (utiliser la toilette, se laver les mains, etc.), puis à la chambre (faire le lit, se changer, etc.) et, enfin, aller à la cuisine (cuisiner). En même temps, le deuxième POI devait aller au salon (passer le balai), ensuite à la cuisine (cuisiner), puis à la salle de bain (utiliser la toilette, se laver les mains, etc.) et, enfin, à la chambre (se relaxer). Pour finir, la personne simulant un invité devait interagir avec la salle de bain, à un moment où aucun POI n'y était, pour vérifier que le système n'indiquait bien personne dans la salle de bain.

7.3.2 RÉSULTATS

La première partie de l'expérimentation a permis de tester, en conditions parfaites, l'association entre un dispositif BLE et le capteur intelligent. Évidemment, après avoir utilisé le jeu de données statiques via des fenêtres glissantes de 60 secondes, avec un chevauchement de 50 %, nous avons atteint une exactitude parfaite (100 % de bonnes associations). Maintenant, il fallait bien entendu tester en condition réelle, d'où notre deuxième expérimentation impliquant plusieurs personnes. Nous avons formé 4 groupes de deux personnes parmi les participants. Chaque personne d'un groupe réalisait les deux rôles du scénario. Pendant le scénario, les utilisateurs devaient se déplacer d'une zone à une autre, créant alors des faux-positifs, puisque détectés à une place qui n'était pas à considérer pendant la procédure. Par exemple, passer du salon à la salle de bain fait passer l'utilisateur proche de la cuisine, puis de la chambre, sans pour autant s'y arrêter. Pourtant, les capteurs intelligents peuvent détecter l'utilisateur et ainsi fausser les résultats. C'est pourquoi nous avons compilé deux résultats, avec et sans les

effets de transitions ("Exac. 1" est l'exactitude en prenant en compte les transitions, tandis que "Exac. 2" les ignore; "NB-Err-Trans" correspond au nombre d'erreurs liées aux transitions).

Les Tableaux 7.2 et 7.1 illustrent les résultats obtenus, respectivement de l'association d'un POI avec un PIR en utilisant l'association PIR/RSSI ou simplement RSSI. Ces résultats ont été extraits pour vérifier l'importance de la détection de mouvement dans la localisation des POI. On peut voir qu'en règle générale, la localisation par RSSI permet de le faire correctement dans **90,22 %** des cas, tandis qu'en ajoutant l'option de détections de mouvements, cette valeur grimpe à **92,98 %**.

Tableau 7.1 : Association d'un POI en utilisant seulement les RSSI (Lapointe *et al.*, 2020)

| Participant | NB-Détections | NB-Erreurs | Exac. 1 | NB-Err-Trans | Exac. 2 |
|----------------|---------------|------------|----------------|--------------|----------------|
| A | 46 | 6 | 86,96% | 4 | 95,65% |
| B | 46 | 7 | 84,78% | 3 | 91,30% |
| C | 46 | 11 | 76,09% | 5 | 86,96% |
| D | 46 | 8 | 82,61% | 3 | 89,13% |
| E | 46 | 11 | 76,09% | 4 | 84,78% |
| F | 46 | 10 | 78,26% | 3 | 84,78% |
| G | 46 | 5 | 89,13% | 2 | 93,48% |
| H | 46 | 4 | 91,30% | 2 | 95,65% |
| Moyenne | | | 83.15 % | | 90.22 % |

Avec ces résultats, on peut observer que le système arrive bien à associer un POI à une détection de mouvements dans l'environnement. Cependant, on peut aussi voir que la simple localisation via RSSI permet aussi de le faire, avec un taux de bonnes associations légèrement plus faible. De plus, nous avons introduit une personne qui n'était pas un POI dans l'expérimentation, qui devait réaliser des activités dans la salle de bain, sans aucun POI à proximité. Les capteurs intelligents ont bien pris en compte qu'une personne qui n'était pas à surveiller était présente et ils l'ont donc ignorée, avec succès. Ensuite, bien que les taux soient plus élevés lorsque l'on ignore les transitions, il est évidemment plus réaliste de les prendre en

Tableau 7.2 : Association d'un POI à une détection de mouvements (Lapointe *et al.*, 2020)

| Participant | NB-Détections | NB-Erreurs | Exac. 1 | NB-Err-Trans | Exac. 2 |
|----------------|---------------|------------|----------------|--------------|----------------|
| A | 120 | 9 | 92,50% | 7 | 98,33% |
| B | 92 | 16 | 82,61% | 14 | 97,83% |
| C | 95 | 15 | 84,21% | 8 | 92,63% |
| D | 76 | 16 | 78,95% | 10 | 92,11% |
| E | 77 | 11 | 85,71% | 7 | 94,81% |
| F | 70 | 27 | 61,43% | 11 | 77,14% |
| G | 96 | 21 | 78,13% | 15 | 93,75% |
| H | 108 | 23 | 78,70% | 20 | 97,22% |
| Moyenne | | | 80.28 % | | 92.98 % |

considération pour simuler un milieu en temps réel. En effet, n'ayant pas de contexte quant aux activités que réalisent un POI, on ne peut pas savoir quelles détections doivent être à ignorer (transitions). De ce fait, les exactitudes obtenues pendant l'expérimentation (80,28 % pour les PIR et RSSI combinés et 83,15 % pour juste les RSSI) sont les plus proches de la vérité. Cependant, comme l'expérimentation était plutôt courte (3 minutes dans chaque pièce), le taux est assez biaisé par le ratio élevé entre le nombre de transitions et la durée d'une activité.

Enfin, il est important de mentionner que l'appartement utilisé ici est à considérer comme un pire cas, puisqu'il est assez petit (43 m²) et chaque pièce, à l'exception de la salle de bain, est en aire ouverte. À notre opinion, avoir un environnement avec des pièces fermées augmenterait drastiquement les résultats de l'association.

7.4 CONCLUSION

Pour conclure sur ce chapitre, nous avons développé un capteur intelligent capable de suivre et d'identifier des POI dans un environnement, dans un contexte multi-résidents. Le système conçu dans ce but utilise des composants facilement disponibles tout en étant le moins cher possible pour une implémentation. Nous avons également effectué une expérimentation

pour démontrer l'utilisation possible en milieu réel, qui s'est d'ailleurs avérée très positive. Ce dispositif pourrait ainsi vraiment aider à la surveillance d'activités dans un contexte multi-résidents. Bien que le capteur intelligent puisse encore être amélioré (PIR moins sensible aux interférences, par exemple), ce prototype reste très viable pour continuer d'être exploré.

CHAPITRE VIII

ÊTRE PRÉSENT À LA FOIS DANS L'ENVIRONNEMENT ET SUR LES UTILISATEURS

Dans les travaux précédents, nous avons conçu un bracelet pour reconnaître les activités liées à la mobilité suivantes : *courir, marcher, inactif, assis-debout, debout-assis* (Chapron, 2018; Chapron *et al.*, 2018). Avec l'aide d'un Raspberry Pi 3, le bracelet permettait d'identifier ces activités avec une exactitude de 96 %. Il a été conçu pour être déployé facilement dans un environnement. Cependant, les communications nécessaires avec le Raspberry Pi 3 représentaient la partie la plus complexe du système développé. Étant donné le but de cette thèse, l'intégration de ce bracelet comme dispositif intelligent peut aider drastiquement les autres dispositifs et leurs interprétations.

Cependant, la nécessité que les calculs soient exécutés sur le Raspberry Pi 3 rendait l'utilisation du bracelet limitée. Ainsi, nous avons voulu intégrer les calculs nécessaires à la reconnaissance des activités liées à la mobilité directement sur le bracelet. Un tel changement majeur induisait plusieurs modifications dans le matériel ainsi que le logiciel du bracelet mais étant donné le potentiel derrière un bracelet capable d'IA et de communication sans fil en temps réel, nous avons décidé d'effectuer ce changement afin de pouvoir l'intégrer dans le kit présenté dans cette thèse. Ce chapitre va donc couvrir les différents apports du bracelet dans ce kit. En premier lieu, nous montrerons comment le bracelet a été modifié. Ensuite, nous verrons les données collectées par le bracelet sur la personne et comment elles sont récupérées et envoyées. Enfin, nous verrons les différents apports du bracelet pour les capteurs intelligents présentés dans les Chapitres 5, 6 et 7.

8.1 CONCEPTION DU BRACELET ET GESTION DE SES DONNÉES

Pour mieux comprendre comment le bracelet fonctionne, nous détaillerons les différentes étapes de sa conception. Ainsi, nous commencerons avec la présentation de sa conception matérielle et donnerons les schémas de connexions électroniques nécessaires à sa reproduction. Ensuite, la manière avec laquelle les données brutes sont gérées sera expliquée. Après avoir été traitées, les données doivent être communiquées et, par conséquent, le protocole de communication adopté sera abordé. Enfin, nous verrons comment est gérée la composante énergétique du bracelet (p. ex., sa consommation, son autonomie, etc.).

8.1.1 COMPOSANTE MATÉRIELLE

Le bracelet est composé d'un microcontrôleur, de plusieurs capteurs/effecteurs et d'une batterie. Étant donné la multitude d'usages potentiels dans divers projets, il devait être capable de récolter des données inertielles et de les communiquer (sans fil) à d'autres dispositifs. C'est pourquoi nous avons opté pour un microcontrôleur capable de transmettre ces données de manière efficace. Nous avons donc choisi le Redbear Nano V2³⁴ qui est équipé d'une puce électronique nRF52832³⁵. Cette puce permet une transmission de données sans fil, par le biais de la technologie BLE, et de communiquer avec des capteurs matériels par le biais d'I2C et/ou SPI. Il est aussi équipé de fiches PWM pour utiliser des effecteurs, comme des LED. Avec son processeur de 64 MHz, ses 64 Kb de mémoire RAM et ses 512 Kb de mémoire flash, il permet d'être un contrôleur idéal pour nos besoins. À celui-ci, nous avons ajouté une centrale inertielle afin de pouvoir effectuer de la reconnaissance d'activités liées à la mobilité (marcher, courir, immobile, s'asseoir). Étant donné les bons résultats obtenus dans nos anciens travaux

34. <https://www.sparkfun.com/products/retired/14070>

35. https://cdn.sparkfun.com/assets/a/7/b/1/1/nRF52832_PS_v1.0.pdf

(Chapron, 2018; Chapron *et al.*, 2018), nous avons sélectionné le LSM9DS1³⁶ qui possède un accéléromètre, un magnétomètre et un gyroscope, chacun avec 3 axes, pour 9 degrés de liberté. Ensuite, étant donné que le bracelet est censé fonctionner sur batterie, nous avons ajouté un dispositif qui permet de lire constamment les données relatives à la batterie : sa consommation, son état, la quantité d'énergie restante (en pourcentage et en volts), sa capacité.³⁷ Enfin, pour avoir plus d'options en termes d'interactions et de rétroactions, nous avons ajouté un bouton et une LED rouge. L'ensemble du schéma électronique peut être retrouvé à la Figure 8.1.

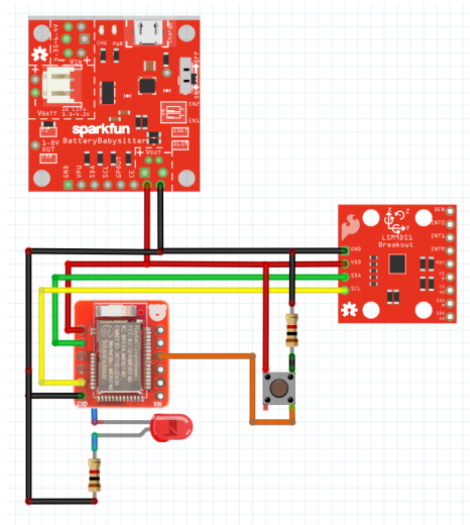


Figure 8.1 : Schéma électronique du bracelet (réalisé avec le logiciel *Fritzing*)

Afin de simplifier la réalisation de l'ensemble, nous avons imprimé nos cartes propres électroniques sur lesquelles il suffit de placer les différents composants indispensables (microcontrôleur, centrale inertielle, gestionnaire de batterie, bouton et LED). On peut observer l'ensemble du bracelet monté à la Figure 8.2 (partie droite).

36. <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lsm9ds1.html>

37. <https://www.sparkfun.com/products/13777>

Finalement, pour obtenir un bracelet respectable visuellement et pour qu'il puisse être porté, nous avons conçu un boîtier que nous avons imprimé en 3D (Figure 8.2, partie gauche). Ce boîtier est lui aussi disponible pour une potentielle reproduction par quiconque possédant le matériel nécessaire. Tout le nécessaire pour la création de ce bracelet est disponible sur le répertoire Github associé³⁸. Au total, le bracelet est estimé à 80 \$, puisque le microcontrôleur en coûtait 19 \$ (discontinué désormais)³⁹, 21,50 \$ pour la centrale inertielle⁴⁰, 28,60 \$ pour le gestionnaire de batterie⁴¹ et environ 10 \$ pour le reste. Il est aussi important de noter que les dispositifs utilisés sont des cartes pour le développement de prototype, pas de produit. L'utilisation des puces au lieu des cartes de développement réduirait drastiquement le coût de production.

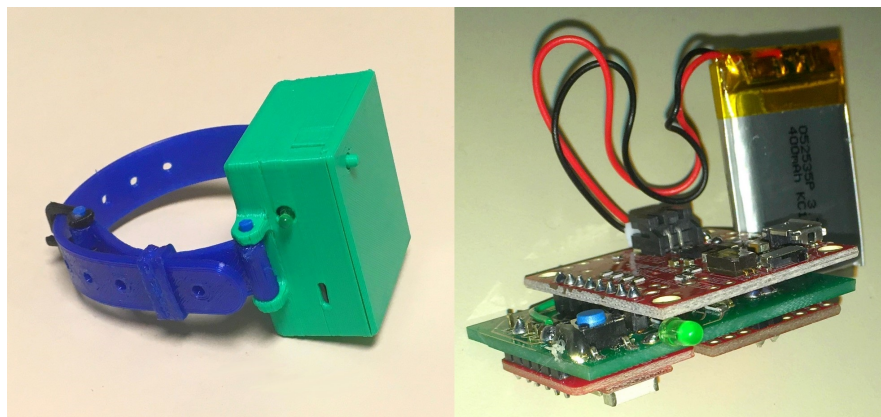


Figure 8.2 : Image du bracelet assemblé (Chapron *et al.*, 2021b)

38. <https://github.com/LIARALab/Bracelet/>

39. <https://www.seeedstudio.com/RedBear-BLE-Nano-V2.html>

40. <https://www.digikey.ca/short/t8jf9j0f>

41. <https://www.digikey.ca/short/t13zh987>

| Calibration | Accéléromètre | Gyroscope | Magnétomètre |
|--------------------------------|---------------|---------------------|-----------------|
| Intervalle de valeurs permises | $[-4, 4] g$ | $[-2000, 2000] dps$ | $[-4, 4] gauss$ |
| Débit de données | $119 Hz$ | $119 Hz$ | $0,625 Hz$ |

Tableau 8.1 : Données de calibration de la centrale inertielle

8.1.2 GESTION DE LA DONNÉE BRUTE

Plusieurs types de données sont créés dans ce dispositif. Le premier correspond aux données collectées par la centrale inertielle. Nous avons fait le choix technologique d'utiliser I2C pour acheminer les données de la centrale inertielle vers le microcontrôleur puisqu'ils possèdent tous les deux ce mode de communication. De plus, nous avons calibré la centrale inertielle et chacun de ses capteurs (accéléromètre, gyroscope, magnétomètre) avec les valeurs indiquées dans le Tableau 8.1. Le magnétomètre a été paramétré avec la valeur $0,625 Hz$ puisqu'il ne sera pas considéré dans notre méthode. Ce choix a été fait en prenant en compte l'étude précédente réalisée avec ce même capteur, dans lequel le magnétomètre s'est révélé peu utile (Chapron *et al.*, 2018). Les deux autres capteurs ont leur fréquence d'échantillonnage à $119 Hz$ puisque c'est la première valeur autorisée au-dessus de la fréquence que nous voulions obtenir, à savoir $60 Hz$. Pour l'utilisation de ce capteurs, il n'y a pas besoin d'extrapoler de formule pour convertir la valeur brute (voltage) vers une donnée intelligible ; la compagnie fournit la formule le faisant. Ainsi, nous obtenons facilement les valeurs comme $1,52 g$ de la part de l'accéléromètre.

Le deuxième type de données collectées ici est relatif à la batterie. Nous avons configuré son capteur pour qu'il nous communique ses données toutes les 20 secondes, ce qui est bien assez pour leur utilisation (étant donné la consommation moyenne, le niveau de batterie ne change pas assez souvent pour être observé plus régulièrement). Ainsi, le capteur permet d'obtenir l'état de la batterie actuel et sa consommation énergétique. En particulier, cela

permet de constater les pics de consommation et les moments où la batterie est en recharge (si la valeur de la charge est inférieure à 0). Comme dans le cas de la centrale inertielle, le capteur vient avec sa propre librairie qui transforme automatiquement les données brutes vers des données intelligibles. Avec l'utilisation prévue de ce bracelet (reconnaissance d'action continue, transfert de données régulier, entraînement nécessitant un haut taux de transfert de données, stockage des actions), la batterie du bracelet est capable de durer environ 30 h. Cette estimation pourrait être largement augmentée à une semaine complète, si seulement l'entraînement n'avait pas besoin d'autant de données. De plus, cela nécessiterait une refonte du système de transfert d'informations (supprimer la connexion/déconnexion).

8.1.3 COMMUNICATION DE LA DONNÉE TRAITÉE

Une fois récupérées, ces données sont transmises au périphérique BLE par le biais des différentes caractéristiques. La norme BLE impose l'utilisation de la caractéristique ayant l'adresse `0x180F` ([Bluetooth®](#), 2021) pour la communication du niveau de batterie.

Pour ce qui est de la communication des données de la centrale inertielle, nous avons compressé les 9 degrés de liberté dans une seule caractéristique comportant alors 20 octets. Cette manière de faire permet de multiplier la vitesse de communication puisqu'au lieu d'envoyer 9 x 4 octets (sans compression, de façon indépendante), nous envoyons une seule fois 20 octets. La compression réalisée est sans perte puisqu'elle a été calculée en fonction du degré de fiabilité des capteurs en prenant en compte la configuration mise en place.

L'accéléromètre envoie des données avec une précision de 10^{-3} g, le gyroscope avec une précision de 7×10^{-2} dps et le magnétomètre 14×10^{-2} gauss. De plus, étant donné la valeur maximale configurée pour le gyroscope, sa précision ne serait que d'un chiffre après la virgule. En somme, nous avons 3 chiffres après la virgule pour l'accéléromètre et le magnétomètre

et 1 chiffre après la virgule pour le gyroscope (pour chacun des axes). Comme les données sont comprises entre des intervalles fixés et que les valeurs négatives ont besoin de plus d'espaces, nous avons transformé les valeurs en nombre entier en utilisant à la fois un simple décalage (troncature) et un ajout de la valeur minimale absolue. Ainsi, une valeur de $-0,7445\text{ g}$ deviendrait 326 g ($-0,74$ une fois tronqué, $3,26$ une fois ajoutée la valeur minimale absolue et enfin 326 une fois multipliée par 100). Avec cette compression, nous obtenons un paquet de 21 octets (6 pour l'accéléromètre, 6 pour le magnétomètre et 9 pour le gyroscope). Cela était encore trop volumineux. Cependant, quelques bits étaient superflus dans certains octets du magnétomètre (une valeur occupe 12 bits, et non les 16 complets) générant alors assez de place pour qu'une fois remplie, nous arrivions aux 20 octets nécessaires. La Figure 8.3 démontre la compression effectuée.

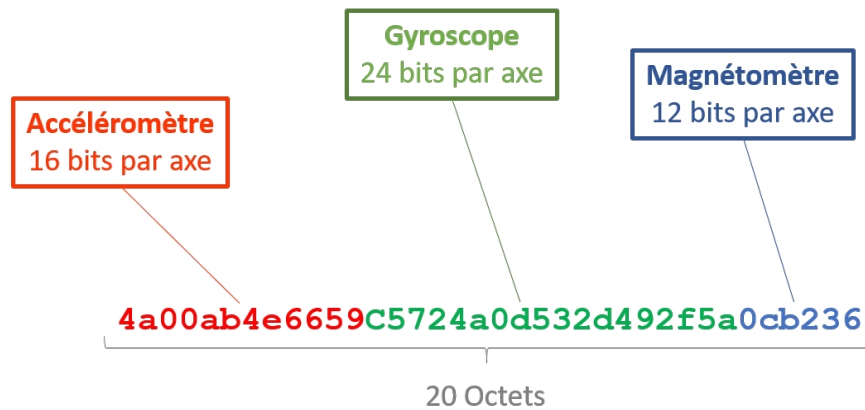


Figure 8.3 : Compression des données de la centrale inertielle

Bien que dans notre cas le magnétomètre ne soit pas pris en compte, nous avons tenu à mettre en place cette compression, pour qu'au besoin, il puisse être réactivé sans avoir à se heurter au problème de communication que nous avons eu auparavant (Chapron *et al.*, 2018).

8.2 LE BRACELET COMME ÉTANT UNE SOURCE DE DONNÉES

Comme nous avons pu le voir dans la section précédente, le bracelet collecte les données de la centrale inertielle. Celles-ci peuvent être analysées par différents algorithmes de traitement de signaux et d'apprentissage machine afin d'en extraire de l'information encore plus pertinente, typiquement, les activités liées à la mobilité d'une personne. Ainsi, nous examinerons les données collectées, le traitement de celles-ci et la reconnaissance d'activités qui en découle.

8.2.1 LES DONNÉES COLLECTÉES

Avant de pouvoir appliquer différents algorithmes d'apprentissage machine, il faut traiter les données inertielles afin qu'elles soient représentatives. En effet, comme une activité n'est pas instantanée, il est nécessaire de considérer les données inertielles accumulées sur une certaine période de temps. C'est pourquoi nous faisons une extraction de caractéristiques sur les données accumulées sur cette période. Pour la réaliser, il faut établir la taille de la fenêtre (durée) pendant laquelle les données seront analysées et qui concorde avec le temps maximal requis pour exécuter une des activités à reconnaître. Dans notre cas, nous avons décidé d'opter pour une fenêtre glissante de 2 secondes avec chevauchement de 50 % (Chapron *et al.*, 2018). Ceci implique qu'une reconnaissance est effectuée à toutes les secondes. Ainsi, après avoir observé la littérature à ce sujet (Mannini *et al.*, 2013; Gupta & Dallas, 2014), nous avons sélectionné 9 caractéristiques à extraire. Chacune d'entre elles sera appliquée sur chaque axe de chaque capteur et accompagnée d'une moyenne relative à la caractéristique (p. ex., la moyenne sera appliquée sur chaque axe et la moyenne des moyennes sera calculée en sus).

Nous mettons, par ailleurs, à disposition notre extracteur de caractéristiques⁴² pour faciliter la prise en main par un chercheur tier. Il permet, dans notre cas, d’obtenir jusqu’à 108 caractéristiques au total lorsqu’on considère tous les axes de tous les capteurs de l’IMU. Cependant, les dernières études ([Chapron et al., 2021b](#)) ont démontré que l’utilisation de quelques caractéristiques simples seulement peut permettre à un dispositif avec peu de puissance de calcul (comme notre bracelet) d’effectuer une reconnaissance d’activités liées à la mobilité de manière satisfaisante. C’est pourquoi, nous avons adopté uniquement la moyenne et l’écart-type, appliqués aux trois axes de l’accéléromètre ainsi qu’aux trois axes du gyroscope. La moyenne de ces deux caractéristiques (moyenne de la moyenne et moyenne des écart-types pour chaque axe d’un capteur) est également ajoutée à la liste par capteur (accéléromètre et gyroscope). Ainsi, nous avons 16 caractéristiques extraites sur les 120 données par axe de chaque capteur (60 *Hz* sur deux secondes, sur les trois axes de chaque capteur), qui seront ensuite utilisées pour la reconnaissance d’activités.

8.2.2 RECONNAISSANCE D’ACTIVITÉS LIÉES À LA MOBILITÉ

La reconnaissance d’activités se réalise en considérant les 16 caractéristiques extraites et décrites précédemment. Afin d’avoir une meilleure vue des performances des différents algorithmes, nous avons construit un jeu de données en interne (validation éthique par le CER de l’UQAC, référence 2019-201, voir annexes). Ce jeu de données est composé de toutes les caractéristiques, ce qui permet d’en tester plusieurs configurations. C’est notamment grâce à ce jeu de données que la décision de ne prendre en compte que les moyennes et écarts-types a été prise. Le jeu de données possède donc 659 entrées d’activités (220 pour *Inactif*, 109 pour *Course*, 110 pour les trois autres activités), collectées auprès de 7 participants adultes qui portaient le bracelet sur le poignet de leur choix pendant la réalisation des activités.

42. <https://github.com/kevinchapron/Python-FeatureExtractor>

Avec ce jeu de données, nous avons pu évaluer les performances de reconnaissance pour les différents algorithmes suivants : les forêts d'arbres décisionnels (RF), les arbres de décision (AD), les machines à vecteurs de support (SVM), les k plus proches voisins (kNN), le classificateur naïf bayésien (NB) et le perceptron multicouche (MLP). Pour chaque algorithme, nous avons extrait l'exactitude des résultats, le temps requis pour effectuer une prédiction et enfin la taille (mémoire requise) du modèle de classification. Au vu des résultats observables dans le Tableau 8.2 et étant donné le type de dispositif sur lequel l'algorithme doit être exécuté, il nous fallait trouver le meilleur compromis entre l'exactitude, la taille du modèle et sa rapidité d'exécution. On peut voir que RF a la meilleure exactitude (91,50 %), mais a une taille de modèle très importante (765 Ko), ce qui le rend inapte à une utilisation sur microcontrôleur. Sur le même esprit, on peut mettre de côté kNN, malgré sa haute exactitude. On peut également retrouver SVM qui possède le plus bas taux de reconnaissance (79,36 %), malgré une taille décente. Ainsi, seuls trois algorithmes sont encore utilisables, à savoir AD, NB et MLP qui ont tous les trois un bon compromis entre l'exactitude et la taille du modèle généré. En observant leurs résultats, on voit bien que les AD offrent un excellent compromis, ce pour quoi nous avons opté pour l'algorithme C4,5. Dans notre ancienne étude ([Chapron et al., 2018](#)), les calculs étaient effectués sur une Raspberry Pi 3, qui était bien plus performante. Cependant, délocaliser ce calcul sur le bracelet permet de reconnaître les activités réalisées aussi à l'extérieur du domicile. Ainsi, à l'intérieur du domicile, le bracelet oeuvre comme un dispositif intelligent standard et envoie les activités qu'il reconnaît dans LIPSHOK, par le biais du protocole BLE. Lorsque le porteur est à l'extérieur de son domicile, les activités reconnues sont stockées dans un tableau produit à cet effet. Celui-ci peut stocker chaque activité (*courir, marcher, inactif, assis-debout, debout-assis*) jusqu'à 65 535 fois.

Étant donné que le bracelet reconnaît une activité chaque seconde, il serait fortement improbable qu'un individu fasse la même activité pendant plus de 18 h d'affilée sans jamais

| Critère | RF | AD | SVM | kNN | NB | MLP |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Exactitude | 0,9150 | 0,8543 | 0,7936 | 0,8786 | 0,8346 | 0,8543 |
| Temps de prédiction (ms) | 0,0461 | 0,0000 | 0,1382 | 0,1843 | 0,0921 | 0,0000 |
| Taille de modèle (Ko) | 765 | 21 | 13 | 111 | 10 | 28 |

Tableau 8.2 : Comparaison des algorithmes de classification communs (Chapron *et al.*, 2021b)

en faire une autre (par exemple courir pendant 18 h sans marcher, être assis pendant 18 h sans se lever, etc.). Ainsi, la limite imposée semble adéquate. Une fois la personne de retour dans son domicile, les données stockées sont transmises à LIPSHOK par une caractéristique BLE adaptée.

Maintenant que les différentes activités de mobilité pouvant être reconnues ont été présentées, il est de convenance d'expliquer le second mode du bracelet. En effet, le bracelet ne sert pas qu'à reconnaître différentes activités de mobilité, mais peut aussi être utilisé à d'autres fins. C'est pourquoi nous avons intégré un deuxième mode dans lequel le bracelet va diffuser en direct ses données inertielles à travers une caractéristique BLE. Ainsi, comme le bracelet diffuse les données inertielles, il est très facile de concevoir une application pour les utiliser à d'autres fins qu'une simple reconnaissance d'activités de mobilité. Par exemple, nous avons récemment utilisé cette caractéristique pour développer une reconnaissance d'exercices physiques préalablement prescrits par un thérapeute, dans le cadre d'un entraînement pour les personnes atteintes de la maladie DM1 (Chapron *et al.*, 2021b; Lessard *et al.*, 2021).

8.3 UTILISATION DU BRACELET POUR ASSOCIER DES ACTIVITÉS TIERCES À UN POI.

En parallèle de l'utilisation du bracelet comme une source de données, nous l'avons également combiné avec les autres capteurs intelligents du LIPSHOK afin d'augmenter la

qualité et la fiabilité des informations que ces autres capteurs peuvent fournir. Ainsi, cette section va présenter respectivement les améliorations amenées par le bracelet pour les capteurs intelligents de la salle de bain (présenté au Chapitre 5), le capteur de vitesse (détaillé au Chapitre 6) et les PIR (explorés au Chapitre 7).

8.3.1 AMÉLIORATION DE L'ENSEMBLE DE CAPTEURS INTELLIGENTS DE LA SALLE DE BAIN

Avant toute chose, le bracelet n'étant pas résistant à l'eau, il est bien évidemment impensable de le porter pendant une utilisation dans la douche/le bain. Cependant, nous avons mis en place un système de détection des POI par proximité du capteur intelligent. Ainsi, lorsqu'une détection est confirmée par les capteurs intelligents (utilisation de la toilette et/ou douche), une écoute des signaux BLE est réalisée, afin de capter tous RSSI entrant à proximité. Le bracelet envoyant régulièrement un signal, celui-ci permet donc d'avoir une bonne idée des personnes proches des capteurs intelligents de la salle de bain et donc d'identifier les personnes réalisant les activités. En effet, une utilisation de la toilette est forcément très proche et peut donc difficilement être confondue avec un autre bracelet dans l'habitat. En revanche, pour ce qui a trait avec l'utilisation de la douche, le capteur intelligent identifiera le bracelet le plus proche, bien qu'il ne doive pas être porté en présence d'eau. Cependant, si le POI a laissé le bracelet dans la salle de bain, le capteur intelligent devrait pouvoir l'associer, d'autant plus qu'il est immobile.

8.3.2 AMÉLIORATION DU CAPTEUR DE VITESSE

Pour la combinaison avec le capteur de vitesse, les apports sont multiples. Tout d'abord, de manière similaire avec les capteurs intelligents de la salle de bain, le capteur de vitesse

utilise les RSSI émis par le bracelet pour associer la vitesse avec le POI l'ayant réalisée. Cependant, comme ce capteur est souvent placé dans des endroits possédant beaucoup de passages et/ou en aire ouverte, la possibilité d'avoir plusieurs POI proche du capteur de vitesse est très haute.

Comme mentionné au Chapitre 6 (Figure 6.8), l'association entre la vitesse collectée et le POI n'est correcte que dans 48 % des cas, en n'utilisant que les RSSI. Nous avons réalisé cette expérimentation pour simuler l'ajout d'un dispositif BLE quelconque dans LIPSHOK. Dans ce cas d'utilisation, le dispositif permet d'identifier les POI en émettant les RSSI nécessaires à l'association par proximité, sans pour autant bénéficier de l'ensemble des fonctionnalités du bracelet. Cela nous a donc permis de vérifier à quel point le bracelet est plus efficace qu'un dispositif BLE quelconque. Ainsi, nous avons combiné la reconnaissance d'activités liées à la mobilité, les informations liées au RSSI et la vitesse détectée pour obtenir un meilleur taux d'association, soit 84 %.

8.3.3 AMÉLIORATION DU POSITIONNEMENT DES *POI* DANS L'ENVIRONNEMENT

Nous avons vu au Chapitre 7 que l'utilisation des PIR dans l'environnement permettait de détecter en temps réel la présence d'un résident dans une pièce du domicile. Cependant, comme le capteur détecte tout changement dans la pièce, il ne peut distinguer, de base, si le changement est provoqué par une personne ou un animal et si c'est un POI ou non. Le fait d'ajouter le bracelet permet cette distinction, en plus de préciser les résultats de localisation dans l'environnement.

En effet, la localisation avec uniquement les PIR permet de suivre une personne avec 90,22 % d'exactitude. Cependant, l'identification est bien simplifiée et plus précise lorsqu'on

utilise le bracelet intelligent puisqu'il permet d'identifier le POI directement. De plus, ajouter la localisation par proximité aux PIRs intelligents permet d'augmenter leur exactitude à 92,98 %.

8.4 CONCLUSION

Pour conclure sur ce chapitre, le bracelet intelligent que nous avons développé permet un meilleur suivi des activités réalisées par un POI dans son environnement. Il permet ainsi de bien mieux gérer le contexte multi-résidents en habitat intelligent, tout en préservant une adaptabilité importante. Plusieurs expérimentations ont été réalisées avec le bracelet pour vérifier ses performances. On facilement constater l'amélioration qu'il permet à chacun des autres capteurs intelligents du LIPSHOK.

Bien que la technologie a été testée et fonctionne correctement en milieu réel, il a été la cible de plusieurs remarques. Tout d'abord, il serait bon dans un éventuel futur travail de revoir le boîtier pour qu'il soit plus adapté aux technologies du jour et plus semblable aux bracelets intelligents qu'on retrouve dans le commerce.

Pour finir, comme nous voulons que le LIPSHOK soit disponible à sa réutilisation complète par la communauté scientifique, les informations sur le bracelet sont elles aussi disponibles dans un répertoire GitHub : son logiciel, son matériel et l'ensemble des plans nécessaires à sa reproduction⁴³.

43. <https://github.com/LIARALab/Bracelet>

CHAPITRE IX

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans cette thèse, nous avons présenté *LIPSHOK*, un travail innovant qui nous a permis d'élaborer et de développer un kit de capteurs facilement déployable dans un environnement qui répond à plusieurs problématiques déjà énoncées dans cette thèse. Ces problématiques recourent la gestion du contexte multi-résidents dans un environnement intelligent, l'adaptabilité d'un système existant, la facilité d'installation de celui-ci ou encore la qualité des différentes données qu'il permet d'obtenir. Pour répondre à ces problématiques, nous avons commencé au Chapitre 1 par définir le contexte de recherche et émettre trois grandes questions de recherche :

- Comment concevoir un ensemble de capteurs pouvant être déployé facilement dans un habitat, afin de le rendre « intelligent » ?
- Comment faire en sorte que de multiples protocoles de communication puissent être gérés facilement par ce kit afin de pouvoir ajouter de nouveaux capteurs sans avoir de gros efforts de développement logiciel à mettre en oeuvre ?
- Dans le contexte d'habitat intelligent, quelle solution proposer afin d'améliorer l'identification des résidents effectuant des activités afin de les dissocier facilement de leurs visiteurs, tout en préservant un coût faible et une facilité d'installation ?

Pour être en mesure de répondre adéquatement aux questions de recherche soulevées, les Chapitres 2 et 3 nous ont permis de nous renseigner sur les différents types de capteurs, les propriétés qui sont recherchées pour chaque grand type, les architectures existantes d'habitat intelligent, comment sont gérées les données et, enfin, les différents protocoles de communication rencontrés pour diffuser les données dans les habitats intelligents. On a pu observer

que dans les habitats intelligents actuels, plusieurs capteurs sont quasiment toujours intégrés : les PIR et les capteurs électromagnétiques, servant respectivement à détecter les mouvements dans l'environnement et à détecter les changements d'états d'un objet (typiquement un tiroir ouvert/fermé). La raison principale de leur inclusion est leur facilité d'installation. En nous inspirant des habitats intelligents actuels, nous avons émis la première question, qui sera abordée à la Section 9.1. Ensuite, nous avons constaté que la quasi-totalité des habitats intelligents actuels se contraignent à l'utilisation d'un seul protocole de communication, comme CASAS, qui n'utilise que des dispositifs utilisant la technologie ZigBee. Ainsi, nous avons émis la seconde question de recherche qui sera traitée à la Section 9.2. Enfin, beaucoup de problèmes sont ressortis de la littérature quant à la gestion de plusieurs résidents dans un seul environnement (plusieurs POI, un POI avec un visiteur, des animaux de compagnie, etc.) qui peuvent ainsi déclencher plusieurs capteurs à différents moments. Ainsi, la complexité d'association entre la détection d'un capteur et la personne l'ayant déclenchée augmente considérablement. C'est pourquoi nous avons émis la troisième question de recherche qui sera discutée à la Section 9.3.

9.1 RÉPONSE À LA QUESTION 1 : RÉALISATION DU KIT DE CAPTEURS ADAPTATIF ET FACILEMENT INSTALLABLE

Notre première approche pour répondre aux problématiques émises a été détaillée dans le Chapitre 2. Dans cette thèse, nous avons présenté un kit de capteurs facilement déployable et très évolutif. En effet, nous avons ajouté les capteurs communs des habitats intelligents (PIR, capteurs électromagnétiques), mais également d'autres, plus spécifiques, qui n'existaient pas dans ce domaine.

Parmi ceux-ci, on retrouve les deux dispositifs présentés dans le Chapitre 5, permettant de reconnaître les activités liées à l'hygiène. Nous avons observé dans la littérature que

plusieurs équipes se souciaient de ce genre d'activités sans pour autant être vraiment capables de les analyser en profondeur. Nous avons ainsi apporté une solution qui est très facilement installable, puisqu'il suffit de le fixer au mur à l'aide de gomme adhésive. En moyenne, les participants à notre expérimentation trouvaient l'installation très facile (4,57/5) pour un temps faible (moins de 10 minutes) et une calibration très facile (4,71/5). Les deux dispositifs avaient un excellent taux de détection des activités d'hygiène (F-Scores : 95,26 % pour le module de toilette et 98,62 % pour le module de bain/douche). Ces dispositifs ont d'ailleurs été l'objet d'un article de revue publié dans *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* (Chapron *et al.*, 2020).

En plus des dispositifs de la salle de bain, nous en avons ajouté un conçu spécialement pour ce kit, afin de détecter la vitesse de marche d'un POI (Chapitre 6), puisque cette caractéristique est fortement corrélée avec un déclin cognitif. En effet, cette mesure se fait habituellement par un médecin ou un ergothérapeute et dans le meilleur des cas, annuellement. Notre solution permet d'être efficace continuellement et en temps réel, sans sortir de l'environnement habituel du POI. Ce dispositif permet de mesurer la vitesse de marche d'un POI avec une concordance parfaite dans 93,38 % des cas. Il a fait aussi l'objet d'une publication dans une conférence (Chapron *et al.*, 2019) ainsi que dans la revue *Multimedia Tools and Applications* (Chapron *et al.*, 2021a).

Pour compléter ce kit, nous avons également développé le bracelet détaillé au Chapitre 8, pour gérer beaucoup mieux le contexte du multi-résidents. Celui-ci permet de collecter de l'information de mobilité sur les POI et permet une utilisation améliorée des différents dispositifs intelligents déployés dans le kit.

9.2 RÉPONSE À LA QUESTION 2 : GÉRER PLUSIEURS PROTOCOLES DE COMMUNICATION FACILEMENT POUR ASSURER L'ADAPTABILITÉ DU KIT

Le deuxième objectif de cette thèse est à propos du manque d'adaptabilité en termes de protocoles de communication dans les habitats intelligents actuels. Typiquement, un habitat intelligent va être muni de capteurs pouvant communiquer sur un type de protocole de communication spécifié à l'avance. De ce fait, l'adaptabilité est compromise puisqu'aucun capteur communiquant avec une autre technologie ne peut être ajouté sans une refonte du protocole réseau et sans développement logiciel additionnel. C'est pourquoi nous avons conçu une architecture réseau capable de prendre en considération plusieurs protocoles de communication différents. En plus d'être très simple à mettre en place (un exemple est donné dans le répertoire GitHub⁴⁴), sa mise en place peut être aussi bien répartie que centralisée. En effet, bien que les données passent toutes par l'unité centrale, chaque protocole de communication peut être géré sur son propre dispositif, si le besoin se présente. De plus, cette infrastructure permet d'être utilisée de manière non limitée puisqu'une fois les données en temps réel distribuées, elles peuvent être utilisées très facilement. Il suffit de construire une application logicielle très simple (voir répertoire GitHub) pour collecter les données et les transformer sous diverses formes (p. ex., une interface, du stockage, de l'analyse plus poussée, etc.).

9.3 RÉPONSE À LA QUESTION 3 : AMÉLIORER L'IDENTIFICATION DES POI DANS LES HABITATS INTELLIGENTS

Le dernier objectif de cette thèse est en rapport avec la gestion du contexte multi-résidents dans les habitats intelligents. Bien qu'il existe plusieurs manières de gérer le contexte multi-résidents dans la littérature, aucune ne répondait vraiment au problème de l'association entre une activité détectée dans l'environnement et le POI (ou autre source) qui l'a réalisée. De

44. <https://github.com/kevinchapron/FSHK-final>

plus, plusieurs méthodes ne font pas de différenciation entre les POI, les animaux et les invités et/ou individus vivant dans l'environnement sans pour autant devoir être surveillés. Notre approche permet, tout d'abord, de ne surveiller que les POI, en ignorant toutes détections réalisées par une personne ou un animal autre. Lorsqu'un POI porte un bracelet, chacun des dispositifs du kit voit ses fonctionnalités améliorées, comme les PIR, qui augmentent leur taux d'association ou encore le module de vitesse qui exploitent les activités liées à la mobilité reconnues par le bracelet pour confirmer une association. De ce fait, chaque dispositif intelligent va pouvoir utiliser les informations fournies par le bracelet pour augmenter ses performances, notamment sur l'association entre l'activité détectée et le POI l'ayant réalisée (p. ex., +36 % pour le module de vitesse). Ainsi, nous obtenons une façon prometteuse de gérer plusieurs résidents dans un seul environnement qui devrait très bien fonctionner. Cette manière de faire a d'ailleurs fait l'objet d'une publication dans la conférence *Ambient Systems, Networks and Technologies* (Lapointe *et al.*, 2020).

9.4 RÉPONSE À LA PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

Pour conclure cette thèse, nous avons conçu un kit de capteurs facilement déployable, qui permet d'enrichir un environnement en le rendant capable d'Intelligence Ambiante. Pour ce faire, nous avons conçu cinq dispositifs intelligents, que ce soit au niveau matériel que logiciel : dispositif de toilette, dispositif de bain/douche, les PIR, le module de vitesse et le bracelet intelligent. Agrémentés de capteurs électromagnétiques commerciaux, ils permettent de récupérer des données importantes directement dans l'environnement des personnes, sans être considérés trop intrusifs. Ces données peuvent être facilement collectées en développant une application logicielle à connecter en sortie du LIPSHOK. Une application logicielle a été développée pour réaliser une expérimentation avec seulement une partie du LIPSHOK, à savoir le bracelet, dans le cadre du projet ACTI-DM1 (Lessard *et al.*, 2021; Chapron *et al.*,

2021b). Il permettait ainsi de gérer la connectivité du bracelet sans avoir de développement supplémentaire à faire. C'est donc ainsi que nous avons pu concevoir un système d'assistance à la réalisation d'un programme d'entraînement musculaire des membres inférieurs dédié à des personnes atteintes de la dystrophie myotonique de type I DM1. Il interagissait en temps réel avec le bracelet pour donner des encouragements et indiquer l'avancement de l'entraînement.

LIPSHOK a été conçu pour être facilement reproductible par une personne du domaine et l'ensemble de tous les plans matériels et les logiciels sont disponibles dans les répertoires GitHub suivants^{45 46 47 48 49}. LIPSHOK peut être très facilement adapté aux besoins des utilisateurs simplement via le développement d'applications logicielles simples, et ce, peu importe le langage de programmation, du moment que celles-ci peuvent se connecter au WebSocket sortant du LIPSHOK.

9.5 LIMITATIONS ET POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION

Afin d'aller plus loin dans le développement du LIPSHOK, il est essentiel de discuter des limitations des dispositifs intelligents et du LIPSHOK au complet. Nous allons aussi énoncer quelques pistes d'améliorations à explorer.

9.5.1 LIPSHOK

Cette thèse propose une approche pour gérer plusieurs protocoles de communication au sein d'un même réseau dans un contexte d'habitat intelligent. De plus, les dispositifs

45. <https://github.com/kevinchapron/FSHK-final>

46. <https://github.com/LIARALab/Bracelet>

47. <https://github.com/LIARALab/PIRSensorWithBLE>

48. <https://github.com/LIARALab/SpeedSensor>

49. <https://github.com/LIARALab/ReconActivite-ChambreDeBain>

intelligents développés permettent de collecter des données fiables et intelligibles à propos d'activités réalisées par les POI. Cependant, le développement nécessaire à la création de tous ces dispositifs et de l'architecture de communication a négligé l'aspect IA de chacun des dispositifs intelligents. Ils ont évidemment une IA simple qui leur permet de réaliser leurs tâches, mais celle-ci pourrait être plus étoffée pour réaliser des analyses plus poussées avant même la communication.

De plus, bien que chaque module a été testé indépendamment les uns des autres, LIPSHOK n'a pas pu être l'objet d'une expérimentation. En effet, le contexte de pandémie de COVID-19 et les règles de distanciation sociale mises en place par le gouvernement ont grandement compliqué le déploiement du LIPSHOK et son expérimentation avec plusieurs personnes. Ainsi, une amélioration de ce kit réside dans son expérimentation avec plusieurs personnes interagissant avec les capteurs, afin de prouver son efficacité dans l'association entre une activité détectée et le POI qui l'a réalisée.

Pour continuer, bien que LIPSHOK puisse gérer beaucoup de protocoles de communication, il n'y en a que certains qui sont proposés de façon native dans le kit (TCP, UDP, WebSockets, BLE, Z-Wave). Il serait intéressant d'en proposer encore plus de façon native, afin d'encore diminuer la tâche de développement. Cependant, comme chaque protocole est différent, cela nécessite un temps considérable de développement sur chacun des protocoles à ajouter. Ce serait néanmoins une amélioration importante du kit.

9.5.2 MODULES DE SALLE DE BAIN

Nous observons deux limitations principales dans ces deux dispositifs intelligents. La première est relative au fait que les deux capteurs fonctionnent avec une énergie secteur et non sur batterie. Bien qu'ils puissent théoriquement l'être, la consommation serait trop importante,

notamment à cause du protocole de communication utilisé et de la Raspberry Pi Zero W, qui n'est pas adaptée pour une consommation réduite.

De plus, le dispositif devant aller dans la douche a été imperméabilisé par nos soins au meilleur de nos capacités, mais ce serait plus judicieux pour une expérimentation plus importante de passer une norme IP66 au minimum (IP66 pour une douche, IP67 pour une baignoire).

Ainsi, deux pistes d'améliorations de ce capteur rentrent en considération. La première est de modifier le dispositif afin de gérer un autre protocole moins gourmand en énergie et de changer le contrôleur pour un plus adapté à la situation, afin de retirer le plus de fils possible. Ensuite, faire évaluer l'indice de protection afin qu'il soit adéquat serait aussi une bonne piste d'amélioration.

9.5.3 MODULE DE DÉTECTION DE VITESSE DE MARCHE

Bien que le dispositif permettant de mesurer la vitesse de marche soit fonctionnel, aussi bien en aire ouverte que dans un couloir, il a été testé uniquement en laboratoire avec une personne se déplaçant et d'autres bracelets étant statiques (pour simuler des personnes dans l'appartement). Il serait intéressant de tester plus intensivement ce dispositif pour vérifier que sa composante multi-résidents fonctionne très bien, malgré une utilisation assez soutenue. Ainsi, sa compatibilité avec beaucoup de bracelets en mouvement sera elle aussi mise à l'épreuve.

9.5.4 MODULES PIR

Les dispositifs intelligents composés d'un PIR ont été initialement conçus pour une utilisation sur batterie, avec la technologie BLE. Cependant, la connectivité dépend grandement

de l'adaptateur utilisé. Par exemple, celui de la Raspberry Pi ne permet pas de se connecter à autant de dispositifs qu'on l'aurait voulu. C'est pourquoi les PIR utilisent le protocole de communication Wi-Fi. Cependant, il serait très intéressant d'approfondir le développement pour qu'ils puissent de nouveau être utilisés sans-fil sans pour autant être dérangeants en termes de maintenance. La norme BLE étant assez souvent mise à jour, il doit être possible d'intégrer les dernières fonctionnalités pour bénéficier le plus possible du plein potentiel du dispositif intelligent.

9.5.5 BRACELET INTELLIGENT

Pour ce qui est du bracelet intelligent, son aspect extérieur est apparu comme sa plus grande faiblesse. En effet, sa taille est relativement grande par rapport aux bracelets commerciaux que l'on peut trouver sur le marché. Cela s'explique facilement par le fait que nous n'utilisons que des cartes électroniques de développement, conçues pour la création de prototypes et non de produits finaux commercialisables. Une amélioration potentielle réside ainsi dans sa miniaturisation.

Aussi, pour une utilisation plus soutenue, il serait judicieux de concevoir un boîtier complètement imperméable pour que l'utilisateur n'ait pas à s'en soucier si jamais il est à l'extérieur et qu'il se met à pleuvoir. Cette refonte nécessiterait aussi de déplacer le bouton.

Enfin, nous avons ajouté une couche de chiffrement dans nos dispositifs afin de minimiser le risque à ce niveau. Cependant, le protocole de communication BLE possède un système d'authentification plus avancé qui permettrait de mieux gérer les données chiffrées. Comme l'objet principal de cette thèse ne portait pas sur le domaine de la sécurité informatique, cet aspect n'a pas été approfondi. Par contre, il mériterait d'être amplement investigué comme travaux futurs et constituerait une bonne amélioration du kit de capteurs.

9.6 APPORTS PERSONNELS

Ce doctorat m'a permis de progresser énormément, que ce soit sur les plans théoriques et techniques que sur le plan personnel. Il m'a permis de me découvrir une passion pour la création de prototypes, qu'ils soient logiciels ou matériels. Cependant, bien que ce type de développement est assez flexible puisqu'aucune base n'existe, il est important d'être rigoureux dans le développement, ce qui n'est pas toujours chose facile sur la durée d'une thèse. J'ai également pu apprendre beaucoup sur l'électronique, la réseautique, les protocoles de communication, la manière de communiquer de différents capteurs ou tout autre matériel IoT. Enfin, cette expérience universitaire m'aura aussi permis d'exprimer mes travaux auprès de la communauté scientifique qui a pu les valider. J'ai pu y publier 4 articles de conférences et/ou de journaux pendant ma maîtrise (Chapron *et al.*, 2017; Boivin *et al.*, 2018; Bouchard-Aubin *et al.*, 2018; Chapron *et al.*, 2018) et 6 pendant mon doctorat (Chapron *et al.*, 2019, 2020, 2021a; Lessard *et al.*, 2021; Chapron *et al.*, 2021b; Lapointe *et al.*, 2020).

BIBLIOGRAPHIE

Advantech (2020). *Automation Controllers & I/Os*. Repéré le 17 mai 2021, à https://www.advantech.com/products/automation-controllers-i-os/sub_1-2mlf31

Alberdi Aramendi, A., Weakley, A., Aztiria Goenaga, A., Schmitter-Edgecombe, M. & Cook, D. J. (2018). Automatic assessment of functional health decline in older adults based on smart home data. *Journal of Biomedical Informatics*, 81(April 2017), 119–130. doi: [10.1016/j.jbi.2018.03.009](https://doi.org/10.1016/j.jbi.2018.03.009)

Alemdar, H. & Ersoy, C. (2017). Multi-resident activity tracking and recognition in smart environments. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 8(4), 513–529. doi: [10.1007/s12652-016-0440-x](https://doi.org/10.1007/s12652-016-0440-x)

Ali, M., Hur, S. & Park, Y. (2019). Wi-fi-based effortless indoor positioning system using iot sensors. *Sensors*, 19(7), 1496. doi: [10.3390/s19071496](https://doi.org/10.3390/s19071496)

Alzheimer's Association (2020). *2020 Alzheimer's disease facts and figures publication n° 3*. Alzheimer's Association. Repéré le 21 juin 2021, à <https://alz-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/alz.12068>

Athom B.V. (2021). *Homey pro*. Repéré le 03 août 2021, à <https://homey.app/en-ca/store/product/homey-pro/>

Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. (2010). The internet of things : a survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>

Banerjee, A., Sufyanf, F., Nayel, M. S. & Sagar, S. (2018). Centralized framework for controlling heterogeneous appliances in a smart home environment. Dans *2018 International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT)*, pp. 78–82. IEEE. doi: [10.1109/INFOCT.2018.8356844](https://doi.org/10.1109/INFOCT.2018.8356844)

Bang, S., Kim, M., Song, S.-k. & Park, S.-J. (2008). Toward real time detection of the basic living activity in home using a wearable sensor and smart home sensors. Dans *30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE. doi: [10.1109/iembs.2008.4650386](https://doi.org/10.1109/iembs.2008.4650386)

Barker, S., Mishra, A., Irwin, D., Cecchet, E., Shenoy, P., Albrecht, J. *et al.* (2012). Smart* : an open data set and tools for enabling research in sustainable homes. *SustKDD, August, 111*(112), 108.

Belley, C., Gaboury, S., Bouchard, B. & Bouzouane, A. (2015). Nonintrusive system for assistance and guidance in smart homes based on electrical devices identification. *Expert Systems with Applications, 42*(19), 6552–6577. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.024>

Ben-David, A. (2007). A lot of randomness is hiding in accuracy. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 20*(7), 875–885. doi: [10.1016/j.engappai.2007.01.001](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2007.01.001)

Benmansour, A., Bouchachia, A. & Feham, M. (2016). Multioccupant activity recognition in pervasive smart home environments. *ACM Computing Surveys, 48*(3), 1–36. doi: [10.1145/2835372](https://doi.org/10.1145/2835372)

Bluetooth SIG (2021). *Bluetooth*. Repéré le 09 août 2021, à <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/>

Bluetooth® (2021). *16-bit UUID Numbers Document*. Repéré le 03 août 2021, à <https://bit.ly/2QxkvbG>

Bogdanov, A., Knudsen, L. R., Leander, G., Paar, C., Poschmann, A., Robshaw, M. J. B., Seurin, Y. & Vikkelse, C. (2007). Present : an ultra-lightweight block cipher. Dans P. Paillier & I. Verbauwhede (Éds.). *Cryptographic Hardware and Embedded Systems - CHES 2007*, pp. 450–466., Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.

Boivin, M., Bolduc, M., Giroux, P., Porta-Scarta, V., Côté, L., Chapron, K. & Hallé, S. (2018). Développement d’ateliers visant l’initiation à la programmation en contexte parascolaire. Dans *Symposium du GRIPTIC : Comment le numérique peut-il participer au développement de compétences ?* CRIFPE.

Bouchard, B., Giroux, S. & Bouzouane, A. (2006). A smart home agent for plan recognition of cognitively-impaired patients. *Journal of Computers (Finland), 1*(5), 53–62.

Bouchard, K., Bouchard, B. & Bouzouane, A. (2012). Guidelines to efficient smart home design for rapid ai prototyping : a case study. Dans *Proceedings of the 5th International*

Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, PETRA '12, pp. 29 :1–29 :8., New York, NY, USA. ACM. doi: [10.1145/2413097.2413134](https://doi.org/10.1145/2413097.2413134)

Bouchard, K., Bouchard, B. & Bouzouane, A. (2014). Practical guidelines to build smart homes : lessons learned. *Opportunistic networking, smart home, smart city, smart systems, I*(January 2015), 1–38.

Bouchard-Aubin, M.-C., Bouchard, J., Gaboury, S., Chapron, K. & Dolbec, J. (2018). Nao humanoid robot for cognitive screening in elderly. Dans *23rd Annual CyberPsychology, CyberTherapy & Social Networking Conference*, Gatineau, Canada.

Buracchio, T., Dodge, H. H., Howieson, D., Wasserman, D. & Kaye, J. (2010). The trajectory of gait speed preceding mild cognitive impairment. *Archives of Neurology*, 67(8), 980–986.

Bussmann, J. B., Martens, W. L., Tulen, J. H., Schasfoort, F. C., van den Berg-Emons, H. J. & Stam, H. J. (2001). Measuring daily behavior using ambulatory accelerometry : the activity monitor. *Behavior research methods, instruments, & computers : a journal of the Psychonomic Society, Inc*, 33(3), 349–356. doi: [10.3758/BF03195388](https://doi.org/10.3758/BF03195388)

Catarinucci, L., Colella, R., Mainetti, L., Patrono, L., Pieretti, S., Sergi, I. & Tarricone, L. (2014). Smart rfid antenna system for indoor tracking and behavior analysis of small animals in colony cages. *IEEE Sensors Journal*, 14(4), 1198–1206. doi: [10.1109/JSEN.2013.2293594](https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2293594)

Chai, S., An, R. & Du, Z. (2016/04). An Indoor Positioning Algorithm using Bluetooth Low Energy RSSI. Dans *Proceedings of the 2016 International Conference on Advanced Materials Science and Environmental Engineering*, pp. 274–276. Atlantis Press. doi: [10.2991/amsee-16.2016.72](https://doi.org/10.2991/amsee-16.2016.72)

Chapron, K. (2018). *Méthode hybride pour la reconnaissance d'activités de la vie quotidienne et d'exercices physiques en temps réel*. (Mémoire de maîtrise). Université du Québec à Chicoutimi, 101 p., Chicoutimi, Québec, Canada.

Chapron, K., Bouchard, K., Duchesne, E. & Gaboury, S. (2017). Transportable and scalable system for activities and exercises recognition in real-time. Dans *14th IEEE International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing*, p. 7., San Francisco.

Chapron, K., Bouchard, K. & Gaboury, S. (2019). Real-time gait speed evaluation at home. Dans *Proceedings of the 5th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good*, GoodTechs '19, pp. 55–60., New York, NY, USA. ACM.

Chapron, K., Bouchard, K. & Gaboury, S. (2021). Real-time gait speed evaluation at home in a multi residents context. *Multimedia Tools and Applications*, 80(9), 12931–12949. doi: [10.1007/s11042-020-08962-y](https://doi.org/10.1007/s11042-020-08962-y)

Chapron, K., Lapointe, P., Bouchard, K. & Gaboury, S. (2020). Highly accurate bathroom activity recognition using infrared proximity sensors. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(8), 2368–2377. © 2020 IEEE. Reprinted, with permission, from Chapron, Kévin, "Highly Accurate Bathroom Activity Recognition Using Infrared Proximity Sensors", "IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics", 2020., doi: [10.1109/JBHI.2019.2963388](https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2963388)

Chapron, K., Lapointe, P., Lessard, I., Darsmstadt-Belanger, H., Bouchard, K., Gagnon, C., Lavoie, M., Duchesne, E. & Gaboury, S. (2021). Acti-DM1 : Monitoring the Activity Level of People With Myotonic Dystrophy Type 1 Through Activity and Exercise Recognition. *IEEE Access*, 9, 49960–49973. doi: [10.1109/ACCESS.2021.3068877](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3068877)

Chapron, K., Plantevin, V., Thullier, F., Bouchard, K., Duchesne, E. & Gaboury, S. (2018). A more efficient transportable and scalable system for real-time activities and exercises recognition. *Sensors*, 18(1), 268.

Chen, J., Kam, A. H., Zhang, J., Liu, N. & Shue, L. (2005). Bathroom activity monitoring based on sound. Dans H. W. Gellersen, R. Want, & A. Schmidt (Éds.). *Pervasive Computing*, pp. 47–61., Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg. doi: [10.1007/11428572_{_}4](https://doi.org/10.1007/11428572_{_}4)

Chen, J., Zhang, J., Kam, A. & Shue, L. (2005). An automatic acoustic bathroom monitoring system. Dans *2005 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, pp. 1750–1753 Vol. 2. doi: [10.1109/ISCAS.2005.1464946](https://doi.org/10.1109/ISCAS.2005.1464946)

Chen, M. & Hao, Y. (2018). Task offloading for mobile edge computing in software defined ultra-dense network. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 36(3), 587–597. doi: [10.1109/JSAC.2018.2815360](https://doi.org/10.1109/JSAC.2018.2815360)

Chen, R. & Tong, Y. (2014). A two-stage method for solving multi-resident activity

recognition in smart environments. *Entropy*, 16(4), 2184–2203.

Cleland, I., Kikhia, B., Nugent, C., Boytsov, A., Hallberg, J., Synnes, K., McClean, S. & Finlay, D. (2013). Optimal placement of accelerometers for the detection of everyday activities. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 13(7), 9183–9200.

Cook, D., Feuz, K. D. & Krishnan, N. C. (2013). Transfer learning for activity recognition : a survey. *Knowledge and Information Systems*, 36(3), 537–556. doi: [10.1007/s10115-013-0665-3](https://doi.org/10.1007/s10115-013-0665-3)

Cook, D. J., Augusto, J. C. & Jakkula, V. R. (2009). Ambient intelligence : technologies, applications, and opportunities. *Pervasive and Mobile Computing*, 5(4), 277–298. doi: [10.1016/j.pmcj.2009.04.001](https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2009.04.001)

Cook, D. J., Crandall, A. S., Thomas, B. L. & Krishnan, N. C. (2013). Casas : a smart home in a box. *Computer*, 46(7), 62–69. doi: [10.1109/MC.2012.328](https://doi.org/10.1109/MC.2012.328)

Cooper, K. H. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake : correlation between field and treadmill testing. *JAMA*, 203(3), 201–204.

De Miguel, K., Brunete, A., Hernando, M. & Gambao, E. (2017). Home camera-based fall detection system for the elderly. *Sensors (Switzerland)*, 17(12). doi: [10.3390/s17122864](https://doi.org/10.3390/s17122864)

Debes, C., Merentitis, A., Sukhanov, S., Niessen, M., Frangiadakis, N. & Bauer, A. (2016). Monitoring activities of daily living in smart homes : understanding human behavior. *IEEE Signal Processing Magazine*, 33(2), 81–94. doi: [10.1109/MSP.2015.2503881](https://doi.org/10.1109/MSP.2015.2503881)

Dell (2020). *Dell poweredge rack servers*. Repéré le 17 mai 2021, à <https://www.dell.com/en-ca/work/shop/cty/sf/poweredge-rack-servers>

Dewsbury, G., Clarke, K., Rouncefield, M., Sommerville, I., Taylor, B. & Edge, M. (2003). Designing acceptable ‘smart’ home technology to support people in the home. *Technology and Disability*, 15(3), 191–199. doi: [10.3233/TAD-2003-15305](https://doi.org/10.3233/TAD-2003-15305)

Dian, F. J., Yousefi, A. & Lim, S. (2018). A practical study on Bluetooth Low Energy

(BLE) throughput. Dans *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*. IEEE. doi: [10.1109/iemcon.2018.8614763](https://doi.org/10.1109/iemcon.2018.8614763)

Dimakis, A., Prabhakaran, V. & Ramchandran, K. (2005). Ubiquitous access to distributed data in large-scale sensor networks through decentralized erasure codes. Dans *IPSN 2005. Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, 2005.*, pp. 111–117. IEEE. doi: [10.1109/IPSN.2005.1440909](https://doi.org/10.1109/IPSN.2005.1440909)

Drumea, A., Popescu, C. & Svasta, P. (2005). Gsm solutions for low cost embedded systems for industrial control. Dans *28th International Spring Seminar on Electronics Technology : Meeting the Challenges of Electronics Technology Progress, 2005.*, pp. 240–244. doi: [10.1109/ISSE.2005.1491034](https://doi.org/10.1109/ISSE.2005.1491034)

Duffy, V. G. (2017). *Digital human modeling. applications in health, safety, ergonomics, and risk management : health and safety*, Vol. 10287 de *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer International Publishing. doi: [10.1007/978-3-319-58466-9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58466-9)

Eckl, R. & MacWilliams, A. (2009). Smart home challenges and approaches to solve them : a practical industrial perspective. Dans D. Tavangarian, T. Kirste, D. Timmermann, U. Lucke, & D. Versick (Éds.). *Intelligent Interactive Assistance and Mobile Multimedia Computing*, pp. 119–130., Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.

Fan, X., Forsberg, F., Smith, A. D., Schröder, S., Wagner, S., Rödjegård, H., Fischer, A. C., Östling, M., Lemme, M. C. & Niklaus, F. (2019). Graphene ribbons with suspended masses as transducers in ultra-small nanoelectromechanical accelerometers. *Nature Electronics*, 2(9), 394–404. doi: [10.1038/s41928-019-0287-1](https://doi.org/10.1038/s41928-019-0287-1)

Ferdoush, S. & Li, X. (2014). Wireless sensor network system design using raspberry pi and arduino for environmental monitoring applications. *Procedia Computer Science*, 34, 103–110. doi: [10.1016/j.procs.2014.07.059](https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.07.059)

Fogarty, J., Au, C. & Hudson, S. E. (2006). Sensing from the basement. Dans *Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '06*. ACM Press. doi: [10.1145/1166253.1166269](https://doi.org/10.1145/1166253.1166269)

Folstein, M., Anthony, J. C., Parhad, I., Duffy, B. & Gruenberg, E. M. (1985). The meaning of cognitive impairment in the elderly. *Journal of the American Geriatrics Society*, 33(4),

228–235. doi: [10.1111/j.1532-5415.1985.tb07109.x](https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1985.tb07109.x)

Fonseca, A. M. & Soares, E. (2008). The care taker's discourse about taking care of the elderly with Alzheimer's disease. *Northeast Network Nursing Journal*, 9(3).

Fortin-Simard, D., Bilodeau, J., Bouchard, K., Gaboury, S., Bouchard, B. & Bouzouane, A. (2015). Exploiting passive rfid technology for activity recognition in smart homes. *IEEE Intelligent Systems*, 30(4), 7–15. doi: [10.1109/MIS.2015.18](https://doi.org/10.1109/MIS.2015.18)

Fortin-Simard, D., Bouchard, K., Gaboury, S., Bouchard, B. & Bouzouane, A. (2012). Accurate passive RFID localization system for smart homes. Dans *2012 IEEE 3rd International Conference on Networked Embedded Systems for Every Application (NESEA)*, pp. 1–8. doi: [10.1109/NESEA.2012.6474010](https://doi.org/10.1109/NESEA.2012.6474010)

Fritz, S. & Lusardi, M. (2009). White paper : "walking speed : the sixth vital sign". *Journal of geriatric physical therapy (2001)*, 32(2), 46–49.

Ghayvat, H., Mukhopadhyay, S., Gui, X. & Suryadevara, N. (2015). Wsn- and iot-based smart homes and their extension to smart buildings. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 15(5), 10350–10379. doi: [10.3390/s150510350](https://doi.org/10.3390/s150510350)

Giannakopoulos, T., Pikrakis, A. & Theodoridis, S. (2008). A novel efficient approach for audio segmentation. Dans *2008 19th International Conference on Pattern Recognition*, pp. 1–4. doi: [10.1109/ICPR.2008.4761654](https://doi.org/10.1109/ICPR.2008.4761654)

Giroux, S., Bier, N., Pigot, H., Bouchard, B., Bouzouane, A., Levasseur, M., Couture, M., Bottari, C., Swaine, B., Therriault, P.-Y., Bouchard, K., Le Morellec, F., Pinard, S., Azzi, S., Olivares, M., Zayani, T., Le Dorze, G., De Loo, P., Thépaut, A. & Le Pévédic, B. (2015). Cognitive assistance to meal preparation : design, implementation, and assessment in a living lab. *2015 AAAI Spring ...*, pp. 01–25.

Giroux, S., Leblanc, T., Bouzouane, A., Bouchard, B., Pigot, H. & Bauchet, J. (2009). The praxis of cognitive assistance in smart homes. Dans *Behaviour Monitoring and Interpretation - BMI - Smart Environment*, pp. 183–211. IOS Press. doi: [10.3233/978-1-60750-048-3-183](https://doi.org/10.3233/978-1-60750-048-3-183)

Gomez, C., Oller, J. & Paradells, J. (2012). Overview and evaluation of bluetooth low energy : an emerging low-power wireless technology. *Sensors (Switzerland)*, 12(9), 11734–11753. doi: [10.3390/s120911734](https://doi.org/10.3390/s120911734)

Gope, P., Amin, R., Hafizul Islam, S., Kumar, N. & Bhalla, V. K. (2018). Lightweight and privacy-preserving rfid authentication scheme for distributed iot infrastructure with secure localization services for smart city environment. *Future Generation Computer Systems*, 83, 629–637. doi: [10.1016/j.future.2017.06.023](https://doi.org/10.1016/j.future.2017.06.023)

Gupta, P. & Dallas, T. (2014). Feature selection and activity recognition system using a single triaxial accelerometer. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 61(6), 1780–1786.

Han, D.-M. & Lim, J.-H. (2010). Design and implementation of smart home energy management systems based on Zigbee. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 1417–1425. doi: [10.1109/TCE.2010.5606278](https://doi.org/10.1109/TCE.2010.5606278)

Han, D.-m. & Lim, J.-h. (2010). Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and Zigbee. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 1403–1410. doi: [10.1109/TCE.2010.5606276](https://doi.org/10.1109/TCE.2010.5606276)

Hao, J., Bouzouane, A. & Gaboury, S. (2018). Recognizing multi-resident activities in non-intrusive sensor-based smart homes by formal concept analysis. *Neurocomputing*, 318, 75–89. doi: [10.1016/j.neucom.2018.08.033](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.08.033)

Hao, J., Bouzouane, A. & Gaboury, S. (2019). An incremental learning method based on formal concept analysis for pattern recognition in nonstationary sensor-based smart environments. *Pervasive and Mobile Computing*, 59, 101045. doi: [10.1016/j.pmcj.2019.101045](https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2019.101045)

Hayes, T., Hagler, S., Austin, D., Kaye, J. & Pavel, M. (2009). Unobtrusive assessment of walking speed in the home using inexpensive pir sensors. Dans *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE. doi: [10.1109/iembs.2009.5334746](https://doi.org/10.1109/iembs.2009.5334746)

Helal, S., Mann, W., El-Zabadani, H., King, J., Kaddoura, Y. & Jansen, E. (2005). The Gator Tech Smart House : a programmable pervasive space. *Computer*, 38(3), 50–60. doi: [10.1109/mc.2005.107](https://doi.org/10.1109/mc.2005.107)

Hellstrom, Y., Persson, G. & Hallberg, I. R. (2004). Quality of life and symptoms among older people living at home. *Journal of advanced nursing*, 48(6), 584–593. doi: [10.1111/j.1365-2648.2004.03247.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2004.03247.x)

Hoey, J., Bertoldi, A. V., Poupart, P. & Mihailidis, A. (2007). Assisting persons with dementia during handwashing using a partially observable markov decision process. Dans *The 5th International Conference on Computer Vision Systems*, p. The 5th International Conference on Computer Vision Systems (ICVS). International Conference on Computer Vision Systems : Proceedings. doi: [10.2390/BIECOLL-ICVS2007-89](https://doi.org/10.2390/BIECOLL-ICVS2007-89)

Holtz, J. (1992). Pulsewidth modulation-a survey. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 39(5), 410–420. doi: [10.1109/41.161472](https://doi.org/10.1109/41.161472)

Howedi, A., Lotfi, A. & Pourabdollah, A. (2019). Exploring entropy measurements to identify multi-occupancy in activities of daily living. *Entropy*, 21(4), 416. doi: [10.3390/e21040416](https://doi.org/10.3390/e21040416)

Hu, Y., Tilke, D., Adams, T., Crandall, A. S., Cook, D. J. & Schmitter-Edgecombe, M. (2016). Smart home in a box : usability study for a large scale self-installation of smart home technologies. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 2(2), 93–106. doi: [10.1007/s40860-016-0021-y](https://doi.org/10.1007/s40860-016-0021-y)

Huang, C.-N. & Chan, C.-T. (2011). Zigbee-based indoor location system by k-nearest neighbor algorithm with weighted rssi. *Procedia Computer Science*, 5, 58–65. doi: [10.1016/j.procs.2011.07.010](https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.07.010)

IEEE (1997). *Ieee 802.11tm wireless local area networks*. Repéré le 09 août 2021, à <https://www.ieee802.org/11/>

Jenkins, J. & Ellis, C. (2007). Using ground reaction forces from gait analysis : body mass as a weak biometric. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 4480 LNCS, 251–267.

Kalinsky, D. & Kalinsky, R. (2001). Introduction to I2C. *Embedded Systems Programming*, 14(8), 1101–1105.

Kaushik, A. R. & Celler, B. G. (2007). Characterization of pir detector for monitoring occupancy patterns and functional health status of elderly people living alone at home. *Technology and Health Care*, 15(4), 273–288.

Kientz, J. A., Patel, S. N., Jones, B., Price, E., Mynatt, E. D. & Abowd, G. D. (2008). The Georgia Tech aware home. Dans *Proceeding of the twenty-sixth annual CHI conference extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '08*. ACM Press. doi: [10.1145/1358628.1358911](https://doi.org/10.1145/1358628.1358911)

Kim, S. C., Jeong, Y. S. & Park, S. O. (2013). Rfid-based indoor location tracking to ensure the safety of the elderly in smart home environments. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17(8), 1699–1707. doi: [10.1007/s00779-012-0604-4](https://doi.org/10.1007/s00779-012-0604-4)

Klasanja, P., Consolvo, S., Choudhury, T., Beckwith, R. & Hightower, J. (2009). Exploring privacy concerns about personal sensing. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 5538 LNCS, 176–183. doi: [10.1007/978-3-642-01516-8{_}13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-01516-8_{_}13)

Krasotkina, O. & Mottl, V. (2015). Machine learning and data mining in pattern recognition. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9166(July 2012), 425–437.

Krishnan, N. C. & Cook, D. J. (2014). Activity recognition on streaming sensor data. *Pervasive and Mobile Computing*, 10(PART B), 138–154. doi: [10.1016/j.pmcj.2012.07.003](https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2012.07.003)

Kurniawan, W., Hanafi Ichsan, M. H., Akbar, S. R. & Arwani, I. (2017). Lightweight udp pervasive protocol in smart home environment based on labview. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*, 190, 012009. doi: [10.1088/1757-899X/190/1/012009](https://doi.org/10.1088/1757-899X/190/1/012009)

Kwapisz, J. R., Weiss, G. M. & Moore, S. A. (2011). Activity recognition using cell phone accelerometers. *SIGKDD Explor. Newsl.*, 12(2), 74–82. doi: [10.1145/1964897.1964918](https://doi.org/10.1145/1964897.1964918)

Lago, P., Lang, F., Roncancio, C., Jiménez-Guarín, C., Mateescu, R. & Bonnefond, N. (2017). The contextact@a4h real-life dataset of daily-living activities activity recognition using model checking. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10257 LNAI, 175–188. doi: [10.1007/978-3-319-57837-8{_}14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57837-8_{_}14)

Lapointe, J., Bouchard, J., Verreault, A., Potvin, A., Bouchard, B. & Bouzouane, A. (2013). How to maximize the effectiveness of prompts in assistive technologies according to the particular cognitive profile of people with Alzheimer's disease? *International Journal of Smart Home*, 7(5), 19–38. doi: [10.14257/ijsh.2013.7.5.03](https://doi.org/10.14257/ijsh.2013.7.5.03)

Lapointe, P., Chapron, K., Bouchard, K. & Gaboury, S. (2020). A new device to track and identify people in a multi-residents context. *Procedia Computer Science*, 170, 403–410. doi: [10.1016/j.procs.2020.03.082](https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.082)

Lau, B., Haider, S., Boroomand, A., Shaker, G., Boger, J. & Morita, P. (2018). Gait speed tracking system using uwb radar. Dans *12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018)*, pp. 1–4. doi: [10.1049/cp.2018.1258](https://doi.org/10.1049/cp.2018.1258)

Lawton, M. P. & Brody, E. M. (1969). Assessment of older people : self-maintaining and instrumental activities of daily living. *The Gerontologist*, 9(3_Part_1), 179–186. doi: [10.1093/geront/9.3{_}Part{_}1.179](https://doi.org/10.1093/geront/9.3{_}Part{_}1.179)

Le, X. H. B., Di Mascolo, M., Gouin, A. & Noury, N. (2008). Health smart home for elders - a tool for automatic recognition of activities of daily living. *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 3316–3319. doi: [10.1109/IEMBS.2008.4649914](https://doi.org/10.1109/IEMBS.2008.4649914)

Lecouteux, B., Vacher, M. & Portet, F. (2018). Distant speech processing for smart home : comparison of asr approaches in scattered microphone network for voice command. *International Journal of Speech Technology*, 21(3), 601–618. doi: [10.1007/s10772-018-9520-y](https://doi.org/10.1007/s10772-018-9520-y)

Lee, I.-M. & Shiroma, E. J. (2014). Using accelerometers to measure physical activity in large-scale epidemiological studies : issues and challenges. *British Journal of Sports Medicine*, 48(3), 197–201. doi: [10.1136/bjsports-2013-093154](https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093154)

Lee, J.-S., Su, Y.-W. & Shen, C.-C. (2007). A Comparative Study of Wireless Protocols : Bluetooth, UWB, Zigbee, and Wi-Fi. Dans *IECON 2007 - 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 46–51. doi: [10.1109/IECON.2007.4460126](https://doi.org/10.1109/IECON.2007.4460126)

Leens, F. (2009). An introduction to I2C and SPI protocols. *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, 12(1), 8–13. doi: [10.1109/MIM.2009.4762946](https://doi.org/10.1109/MIM.2009.4762946)

Lessard, I., Gaboury, S., Gagnon, C., Bouchard, K., Chapron, K., Lavoie, M., Lapointe, P. & Duchesne, E. (2021). Effects and acceptability of an individualized home-based 10-week training program in adults with myotonic dystrophy type 1. *Journal of Neuromuscular Diseases*, 8(1), 137–149. doi: [10.3233/JND-200570](https://doi.org/10.3233/JND-200570)

Lewis, F. L. (2004). Wireless Sensor Networks. *Smart Environments : Technologies, Protocols, and Applications*, p. 18. doi: [10.1016/B978-075067695-3/50013-6](https://doi.org/10.1016/B978-075067695-3/50013-6)

Li, G., Geng, E., Ye, Z., Xu, Y., Lin, J. & Pang, Y. (2018). Indoor positioning algorithm based on the improved rssi distance model. *Sensors (Switzerland)*, 18(9), 1–15.

Li, R., Lu, B. & McDonald-Maier, K. D. (2015). Cognitive assisted living ambient system : a survey. *Digital Communications and Networks*, 1(4), 229–252. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2015.10.003>

Lin, R. T., Hsu, C. S., Tee, Y. C. & Cheng, S. T. (2008). OSGi-based smart home architecture for heterogeneous network. Dans *Proceedings of the 3rd International Conference on Sensing Technology, ICST 2008*, Vol. 39, pp. 527–532. doi: [10.1109/ICSENST.2008.4757162](https://doi.org/10.1109/ICSENST.2008.4757162)

Liu, L., Stroulia, E., Nikolaidis, I., Miguel-Cruz, A. & Rios Rincon, A. (2016). Smart homes and home health monitoring technologies for older adults : a systematic review. *International Journal of Medical Informatics*, 91, 44–59.

Liu, S., Yamada, M., Collier, N. & Sugiyama, M. (2013). Change-point detection in time-series data by relative density-ratio estimation. *Neural Networks*, 43, 72–83. doi: [10.1016/j.neunet.2013.01.012](https://doi.org/10.1016/j.neunet.2013.01.012)

Lobaccaro, G., Carlucci, S. & Löfström, E. (2016). A review of systems and technologies for smart homes and smart grids. *Energies*, 9(5), 1–33. doi: [10.3390/en9050348](https://doi.org/10.3390/en9050348)

Logan, B., Healey, J., Philipose, M., Tapia, E. M. & Intille, S. (2007). A long-term evaluation of sensing modalities for activity recognition. Dans J. Krumm, G. D. Abowd, A. Seneviratne, & T. Strang (Éds.). *UbiComp 2007 : Ubiquitous Computing*, pp. 483–500., Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.

Ma, Y., Selby, N. & Adib, F. (2017). Minding the billions : ultra-wideband localization

for deployed rfid tags. Dans *Proceedings of the 23rd Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 248–260., New York, NY, USA. ACM. doi: [10.1145/3117811.3117833](https://doi.org/10.1145/3117811.3117833)

Maitre, J., Hallé, S., Bouchard, K. & Gaboury, S. (2019). Electric device recognition and recommendation in real-time based on complex event processing for smart homes. Dans *Proceedings of the 5th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good*, GoodTechs '19, p. 43–48., New York, NY, USA. Association for Computing Machinery. doi: [10.1145/3342428.3343033](https://doi.org/10.1145/3342428.3343033)

Mallik, A. (2019). Man-in-the-middle-attack : understanding in simple words. *Cyberspace : Jurnal Pendidikan Teknologi Informatika*, 2(2), 109. doi: [10.22373/cj.v2i2.3453](https://doi.org/10.22373/cj.v2i2.3453)

Mannini, A., Intille, S. S., Rosenberger, M., Sabatini, A. M. & Haskell, W. (2013). Activity recognition using a single accelerometer placed at the wrist or ankle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(11), 2193–2203.

Mark, J., Corporation, K. I. & Hufnagel, P. (2004). *The IEEE 1451 . 4 Standard for Smart Transducers*. IEEE.

Marksteiner, S., Exposito Jimenez, V. J., Valiant, H. & Zeiner, H. (2017). An overview of wireless iot protocol security in the smart home domain. Dans *2017 Internet of Things Business Models, Users, and Networks*, pp. 1–8. IEEE. doi: [10.1109/CTTE.2017.8260940](https://doi.org/10.1109/CTTE.2017.8260940)

Marquis, S., Moore, M. M., Howieson, D. B., Sexton, G., Payami, H., Kaye, J. A. & Camicioli, R. (2002). Independent predictors of cognitive decline in healthy elderly persons. *Archives of neurology*, 59(4), 601–606.

McClelland, K. E., Stewart, B. B. & Thompson, J. (2004, juin). *Distributed network communication system which enables multiple network providers to use a common distributed network infrastructure*. [Cisco Technology Inc]. AU773884B2.

McCowan, I., Gatica-Perez, D., Bengio, S., Lathoud, G., Barnard, M. & Zhang, D. (2005). Automatic analysis of multimodal group actions in meetings. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(3), 305–317.

Milanovic, Z., Pantelic, S., Trajkovic, N., Sporis, G., Kostic, R. & James, N. (2013). Age-related decrease in physical activity and functional fitness among elderly men and women. *Clinical Interventions in Aging*, 8, 549–556. doi: [10.2147/CIA.S44112](https://doi.org/10.2147/CIA.S44112)

Mokhtari, G., Anvari-Moghaddam, A., Zhang, Q. & Karunanithi, M. (2018). Multi-residential activity labelling in smart homes with wearable tags using BLE technology. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(3), 908. doi: [10.3390/s18030908](https://doi.org/10.3390/s18030908)

Mokhtari, G., Zhang, Q., Hargrave, C. & Ralston, J. C. (2017). Non-wearable uwb sensor for human identification in smart home. *IEEE Sensors Journal*, 17(11), 3332–3340. doi: [10.1109/JSEN.2017.2694555](https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2694555)

Mokhtari, G., Zhang, Q., Nourbakhsh, G., Ball, S. & Karunanithi, M. (2017). Blue-sound : a new resident identification sensor - using ultrasound array and BLE technology for smart home platform. *IEEE Sensors Journal*, 17(5), 1503–1512. doi: [10.1109/JSEN.2017.2647960](https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2647960)

Mokhtari, G., Zhang, Q., Nourbakhsh, G., Ball, S. & Karunanithi, M. (2017). Blue-sound : a new resident identification sensor—using ultrasound array and BLE technology for smart home platform. *IEEE Sensors Journal*, 17(5), 1503–1512. doi: [10.1109/JSEN.2017.2647960](https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2647960)

Motorola, Inc. (2000). *Spi - block guide*. Repéré le 09 août 2021, à https://www.nxp.com/files-static/microcontrollers/doc/ref_manual/S12SPIV4.pdf

Motti, V. G. & Caine, K. (2015). Users' privacy concerns about wearables. Dans M. Brenner, N. Christin, B. Johnson, & K. Rohloff (Éds.). *Financial Cryptography and Data Security*, pp. 231–244., Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg. doi: [10.1007/978-3-662-48051-9_17](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48051-9_17)

MQTT (2015). *Message queuing telemetry transport 3.1.1 plus errata 01*. [OASIS Standard Incorporating]. Repéré le 2 août 2021, à <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/mqtt-v3.1.1.html>

Naya, F., Noma, H., Ohmura, R. & Kogure, K. (2005). Bluetooth-based indoor proximity sensing for nursing context awareness. Dans *Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05)*. IEEE. doi: [10.1109/iswc.2005.13](https://doi.org/10.1109/iswc.2005.13)

Nelson, E. C., Verhagen, T. & Noordzij, M. L. (2016). Health empowerment through activity trackers : an empirical smart wristband study. *Computers in Human Behavior*, 62, 364–374. doi: [10.1016/j.chb.2016.03.065](https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.065)

Ngankam, H. K., Pigot, H., Parenteau, M., Lussier, M., Aboujaoudé, A., Laliberté, C., Couture, M., Bier, N. & Giroux, S. (2019). An iot architecture of microservices for ambient assisted living environments to promote aging in smart cities. Dans J. Pagán, M. Mokhtari, H. Aloulou, B. Abdulrazak, & M. F. Cabrera (Éds.). *How AI Impacts Urban Living and Public Health*, pp. 154–167., Cham. Springer International Publishing.

Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C. & Patil, A. P. (2003). Landmarc : indoor location sensing using active rfid. Dans *Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, PerCom 2003*, pp. 407–415. IEEE Comput. Soc. doi: [10.1109/percom.2003.1192765](https://doi.org/10.1109/percom.2003.1192765)

Nimmy, K., Sankaran, S. & Achuthan, K. (2018). A novel multi-factor authentication protocol for smart home environments. Dans V. Ganapathy, T. Jaeger, & R. K. Shyamasundar (Éds.). *Information Systems Security*, pp. 44–63., Cham. Springer International Publishing.

Novák, M. & Binas, M. (2011). An architecture overview of the smart-home system based on osgi. Dans *11th Scientific Conference of Young Researchers of Faculty of Electrical Engineering and Informatics Tech. University of Košice*, pp. 221–224. Citeseer.

NXP Semiconductors N.V. (1982). *I²c-bus specification and user manual*. Philipps. Répéré le 09 août 2021, à <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>

Paret, D. & Fenger, C. (1997). *The i²c bus : from theory to practice*. USA: John Wiley & Sons, Inc.

Patterson, D. J., Liao, L., Fox, D. & Kautz, H. (2003). Inferring high-level behavior from low-level sensors. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2864, 73–89.

Peel, N. M., Kuys, S. S. & Klein, K. (2012). Gait speed as a measure in geriatric assessment in clinical settings : a systematic review. *The Journals of Gerontology : Series A*, 68(1), 39–46.

Plantevin, V., Bouzouane, A., Bouchard, B. & Gaboury, S. (2019). Towards a more reliable and scalable architecture for smart home environments. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(7), 2645–2656. doi: [10.1007/s12652-018-0954-5](https://doi.org/10.1007/s12652-018-0954-5)

Plantevin, V., Bouzouane, A. & Gaboury, S. (2017). The light node communication framework : a new way to communicate inside smart homes. *Sensors*, 17(10), 2397. doi: [10.3390/s17102397](https://doi.org/10.3390/s17102397)

Podsiadlo, D. & Richardson, S. (1991). The timed "up & go" : a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142–148.

Postel, J. (1980). *User Datagram Protocol*. USC/Information Sciences Institute. Repéré le 21 juin 2021, à <https://www.hjp.at/doc/rfc/rfc768.html>

Postel, J. (1980). *Transmission Control Protocol*. USC/Information Sciences Institute. Repéré le 21 juin 2021, à <https://www.hjp.at/doc/rfc/rfc761.html>

Prosegger, M. & Bouchachia, A. (2014). Multi-resident activity recognition using incremental decision trees. Dans *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Vol. 8779 LNAI pp. 182–191. Springer

Qi, J. & Liu, G. P. (2017). A robust high-accuracy ultrasound indoor positioning system based on a wireless sensor network. *Sensors (Switzerland)*, 17(11). doi: [10.3390/s17112554](https://doi.org/10.3390/s17112554)

Ranasinghe, S., Al MacHot, F. & Mayr, H. C. (2016). A review on applications of activity recognition systems with regard to performance and evaluation. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(8). doi: [10.1177/1550147716665520](https://doi.org/10.1177/1550147716665520)

Raniwala, A. & Tzi-cker Chiueh (2005). Architecture and algorithms for an iee 802.11-based multi-channel wireless mesh network. Dans *Proceedings IEEE 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.*, Vol. 3, pp. 2223–2234. doi: [10.1109/INFCOM.2005.1498497](https://doi.org/10.1109/INFCOM.2005.1498497)

Raspberry Pi Foundation (2016). *Raspberry Pi 3 Model B*. Repéré le 17 mai 2021, à

<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

Raspberry Pi Foundation (2017). *Raspberry Pi Zero W*. Repéré le 17 mai 2021, à <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/>

Roy, N., Misra, A. & Cook, D. (2016). Ambient and smartphone sensor assisted ADL recognition in multi-inhabitant smart environments. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 7(1), 1–19. doi: [10.1007/s12652-015-0294-7](https://doi.org/10.1007/s12652-015-0294-7)

Roy, P., Bouchard, B., Bouzouane, A. & Giroux, S. (2013). Ambient activity recognition in smart environments for cognitive assistance. *International Journal of Robotics Applications and Technologies*, 1, 29–56. doi: [10.4018/ijrat.2013010103](https://doi.org/10.4018/ijrat.2013010103)

Roy, P. C. (2012). *Modèle possibiliste pour la reconnaissance d'activités habitat intelligent*. (Thèse de doctorat). doi: <http://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/5171>

Sadowski, S. & Spachos, P. (2018). Rssi-based indoor localization with the internet of things. *IEEE Access*, 6, 30149–30161.

Sadri, F. (2011). Ambient intelligence. *ACM Computing Surveys*, 43(4), 1–66. doi: [10.1145/1978802.1978815](https://doi.org/10.1145/1978802.1978815)

Salbach, N. M., Brien, K. K., Brooks, D., Irvin, E., Martino, R., Takhar, P., Chan, S. & Howe, J. A. (2015). Reference values for standardized tests of walking speed and distance : a systematic review. *Gait and Posture*, 41(2), 341–360.

Schmidt, C. F., Sridharan, N. S. & Goodson, J. L. (1978). The plan recognition problem : an intersection of psychology and artificial intelligence. *Artificial Intelligence*, 11(1-2), 45–83. doi: [10.1016/0004-3702\(78\)90012-7](https://doi.org/10.1016/0004-3702(78)90012-7)

Schweizer, D., Zehnder, M., Wache, H., Witschel, H., Zanatta, D. & Rodriguez, M. (2015). Using consumer behavior data to reduce energy consumption in smart homes : applying machine learning to save energy without lowering comfort of inhabitants. Dans *2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, pp. 1123–1129. doi: [10.1109/ICMLA.2015.62](https://doi.org/10.1109/ICMLA.2015.62)

Shakhnarovich, G., Lee, L. & Darrell, T. (2001). Integrated face and gait recognition from multiple views. Dans *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*. IEEE Comput. Soc. doi: [10.1109/cvpr.2001.990508](https://doi.org/10.1109/cvpr.2001.990508)

Singla, G., Cook, D. J. & Schmitter-Edgecombe, M. (2010). Recognizing independent and joint activities among multiple residents in smart environments. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1(1), 57–63. doi: [10.1007/s12652-009-0007-1](https://doi.org/10.1007/s12652-009-0007-1)

Sokolova, M., Japkowicz, N. & Szpakowicz, S. (2006). Beyond accuracy, F-Score and ROC : A family of discriminant measures for performance evaluation. *Advances in Artificial Intelligence*, 4304, 1015–1021. doi: [10.1007/11941439{_}114](https://doi.org/10.1007/11941439{_}114)

Sprint, G., Cook, D. J., Fritz, R. & Schmitter-Edgecombe, M. (2016). Using smart homes to detect and analyze health events. *Computer*, 49(11), 29–37. doi: [10.1109/MC.2016.338](https://doi.org/10.1109/MC.2016.338)

Srinivasan, V., Stankovic, J. & Whitehouse, K. (2010). Using height sensors for biometric identification in multi-resident homes. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6030 LNCS(1), 337–354. doi: [10.1007/978-3-642-12654-3{_}20](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12654-3{_}20)

Stone, E. E. & Skubic, M. (2013). Unobtrusive, continuous, in-home gait measurement using the microsoft kinect. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(10), 2925–2932.

Su, Z. (2016). Design of smart home system based on Zigbee. Dans *Proceedings - 2016 International Conference on Robots and Intelligent System, ICRIS 2016*, pp. 167–170. doi: [10.1109/ICRIS.2016.35](https://doi.org/10.1109/ICRIS.2016.35)

Surie, D., Partonia, S. & Lindgren, H. (2013). Human sensing using computer vision for personalized smart spaces. Dans *2013 IEEE 10th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2013 IEEE 10th International Conference on Autonomic and Trusted Computing*, pp. 487–494. IEEE. doi: [10.1109/UIC-ATC.2013.24](https://doi.org/10.1109/UIC-ATC.2013.24)

Taniguti, Y., Edano, S., Tanaka, K., Taniguti, S. & Kuramoto, M. (1989, janvier). *Pyroelectric infrared sensor*. [United States Patent and Trademark Office]. US-4800278-A.

Tapia, E. M., Intille, S. S., Haskell, W., Larson, K., Wright, J., King, A. & Friedman, R. (2007). Real-time recognition of physical activities and their intensities using wireless accelerometers and a heart rate monitor. Dans *2007 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers*. IEEE. doi: [10.1109/iswc.2007.4373774](https://doi.org/10.1109/iswc.2007.4373774)

Thaljaoui, A., Val, T., Nasri, N. & Brulin, D. (2015). BLE localization using RSSI measurements and iRingLA. Dans *2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*. IEEE. doi: [10.1109/icit.2015.7125418](https://doi.org/10.1109/icit.2015.7125418)

Thullier, F., Plantevin, V., Bouzouane, A., Halle, S. & Gaboury, S. (2017). A position-independent method for soil types recognition using inertial data from a wearable device. Dans *2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI)*. IEEE. doi: [10.1109/uic-atc.2017.8397511](https://doi.org/10.1109/uic-atc.2017.8397511)

Titianova, E. B., Mateev, P. S. & Tarkka, I. M. (2004). Footprint analysis of gait using a pressure sensor system. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(2), 275–281.

Tran, S. N., Nguyen, D., Ngo, T.-S., Vu, X.-S., Hoang, L., Zhang, Q. & Karunanithi, M. (2020). On multi-resident activity recognition in ambient smart-homes. *Artificial Intelligence Review*, 53(6), 3929–3945. doi: [10.1007/s10462-019-09783-8](https://doi.org/10.1007/s10462-019-09783-8)

Umair Bin Altaf, M., Butko, T. & Juang, B.-H. (2015). Acoustic gaits : gait analysis with footstep sounds. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 62(8), 2001–2011. doi: [10.1109/TBME.2015.2410142](https://doi.org/10.1109/TBME.2015.2410142)

United Nations, Department of Economic and Social Affairs (2019). *Population Division . World Population Prospects 2019 : Highlights*. Report N° ST/ESA/SER.A/423.

Van Gelder, B. M., Tijhuis, M. A., Kalmijn, S., Giampaoli, S., Nissinen, A. & Kromhout, D. (2004). Physical activity in relation to cognitive decline in elderly men : The FINE study. *Neurology*, 63(12), 2316–2321. doi: [10.1212/01.WNL.0000147474.29994.35](https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000147474.29994.35)

Verghese, J., Lipton, R. B., Hall, C. B., Kuslansky, G., Katz, M. J. & Buschke, H. (2002). Abnormality of Gait as a Predictor of Non-Alzheimer's Dementia. *New England Journal of*

Medicine, 347(22), 1761–1768.

Waite, L. M., Grayson, D. A., Piguet, O., Creasey, H., Bennett, H. P. & Broe, G. A. (2005). Gait slowing as a predictor of incident dementia : 6-year longitudinal data from the sydney older persons study. *Journal of the Neurological Sciences*, 229-230, 89–93.

Walsh, L., Greene, B., Burns, A. & Scanail, C. N. (2011). Ambient assessment of daily activity and gait velocity. Dans *Proceedings of the 5th International ICST Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. IEEE. doi: [10.4108/icst.pervasivehealth.2011.246077](https://doi.org/10.4108/icst.pervasivehealth.2011.246077)

Wang, L., Gu, T., Tao, X. & Lu, J. (2009). Sensor-based human activity recognition in a multi-user scenario. Dans M. Tscheligi, B. de Ruyter, P. Markopoulos, R. Wichert, T. Mirlacher, A. Meschterjakov, & W. Reitberger (Éds.). *Ambient Intelligence*, pp. 78–87., Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.

Weber, W. & Rabaey, J. (2005). *Ambient intelligence*. Springer Science & Business Media.

Werber, B. & Žnidaršič, A. (2015). The use of subcutaneous rfid microchip in health care - a willingness to challenge. *Health and Technology*, 5(1), 57–65. doi: [10.1007/s12553-015-0105-3](https://doi.org/10.1007/s12553-015-0105-3)

Wilson, C., Kostosuca, S. & Boura, J. (2013). Utilization of a 5-meter walk test in evaluating self-selected gait speed during preoperative screening of patients scheduled for cardiac surgery. *Cardiopulmonary physical therapy journal*, 24(3), 36–43.

Wilson, D. H. & Atkeson, C. (2005). Simultaneous tracking and activity recognition (star) using many anonymous, binary sensors. *Lecture Notes in Computer Science*, 3468, 62–79.

Wimo, A., Gauthier, S. & Prince, M. (2018). *Global estimates of informal care*. Alzheimer's Disease International.

Withanage, C., Ashok, R., Yuen, C. & Otto, K. (2014). A comparison of the popular home automation technologies. Dans *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*, pp. 600–605. IEEE. doi: [10.1109/ISGT-Asia.2014.6873860](https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2014.6873860)

Xiong, N., Yang, Y., Cao, M., He, J. & Shu, L. (2009). A survey on fault-tolerance in distributed network systems. Dans *2009 International Conference on Computational Science and Engineering*, pp. 1065–1070. IEEE. doi: [10.1109/CSE.2009.497](https://doi.org/10.1109/CSE.2009.497)

Yang, J., Lee, J. & Choi, J. (2011). Activity Recognition Based on RFID Object Usage for Smart Mobile Devices. *Journal of Computer Science and Technology*, 26(2), 239–246. doi: [10.1007/s11390-011-9430-9](https://doi.org/10.1007/s11390-011-9430-9)

Yang, S. & Li, Q. (2012). Inertial sensor-based methods in walking speed estimation : a systematic review. *Sensors (Switzerland)*, 12(5), 6102–6116.

Zaidi, S., Bitam, S. & Mellouk, A. (2017). Enhanced user datagram protocol for video streaming in VANET. Dans *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 1–6. doi: [10.1109/ICC.2017.7997020](https://doi.org/10.1109/ICC.2017.7997020)

Zapico, A. G., Fuentes, D., Rojo-Tirado, M. A., Calderon, F. J., Rosenzweig, E. B. & Garofano, R. P. (2016). Predicting peak oxygen uptake from the 6-minute walk test in patients with pulmonary hypertension. *Journal of cardiopulmonary rehabilitation and prevention*, 36(3), 203–208.

Zenker, P., Krug, S., Binhack, M. & Seitz, J. (2016). Evaluation of BLE mesh capabilities : a case study based on csmesh. Dans *2016 Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, pp. 790–795. IEEE. doi: [10.1109/ICUFN.2016.7537146](https://doi.org/10.1109/ICUFN.2016.7537146)

Zhang, M. & Sawchuk, A. A. (2012). A preliminary study of sensing appliance usage for human activity recognition using mobile magnetometer. Dans *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing, UbiComp '12*, p. 745–748., New York, NY, USA. Association for Computing Machinery. doi: [10.1145/2370216.2370380](https://doi.org/10.1145/2370216.2370380)

Zheng, S., Apthorpe, N., Chetty, M. & Feamster, N. (2018). User perceptions of smart home iot privacy. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 2(CSCW), 1–20. doi: [10.1145/3274469](https://doi.org/10.1145/3274469)

Zigbee Alliance (2015). *Zigbee Specification*. Zigbee Alliance, California, USA. Repéré le 21 juin 2021, à <https://zigbeealliance.org/wp-content/uploads/2019/11/docs-05-3474-21-0csg-Zigbee-specification.pdf>

Zipperer, A., Aloise-Young, P. A., Suryanarayanan, S., Roche, R., Earle, L., Christensen, D., Bauleo, P. & Zimmerle, D. (2013). Electric energy management in the smart home : perspectives on enabling technologies and consumer behavior. *Proceedings of the IEEE*, 101(11), 2397–2408. doi: [10.1109/jproc.2013.2270172](https://doi.org/10.1109/jproc.2013.2270172)

Zou, Z., Li, K.-J., Li, R. & Wu, S. (2011). Smart home system based on ipv6 and Zigbee technology. *Procedia Engineering*, 15, 1529–1533. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.284>

APPENDICE A

CERTIFICATS D'APPROBATION ÉTHIQUE

A.1 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-200

UQAC

Comité d'éthique de la recherche
Université du Québec à Chicoutimi

CERTIFICAT ÉTHIQUE

Dans le cadre de l'Énoncé de politique des trois conseils : éthique de la recherche avec des êtres humains 2 (2014) et conformément au mandat qui lui a été confié par la résolution CAD-7163 du Conseil d'administration de l'Université du Québec à Chicoutimi, approuvant la *Politique d'éthique de la recherche avec des êtres humains* de l'UQAC, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Chicoutimi, à l'unanimité, délivre la présente approbation éthique puisque le projet de recherche mentionné ci-dessous rencontre les exigences en matière éthique et remplit les conditions d'approbation dudit Comité.

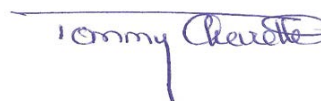
Les membres jugent que ce projet rencontre les critères d'une recherche à risque minimal.

| | |
|---|---|
| Responsable(s) du projet de recherche : | <i>Monsieur Kévin Chapron, Étudiant Doctorat en informatique, UQAC</i> |
| Direction de recherche : <i>(telle qu'indiquée dans la demande d'approbation éthique)</i> | <i>Monsieur Sébastien Gaboury, Professeur Département d'informatique et de mathématique</i> |
| Codirection de recherche : <i>(telle qu'indiquée dans la demande d'approbation éthique)</i> | <i>Monsieur Kévin Bouchard, Professeur Département d'informatique et de mathématique</i> |
| Cochercheur(s) : | <i>Monsieur Patrick Lapointe, Étudiant Département d'informatique et de mathématique</i> |
| Projet de recherche intitulé : | <i>Système de reconnaissance d'activités relatives à l'hygiène corporelle</i> |
| No référence du certificat : | <i>602.636.01</i> |
| Financement : <i>(tel qu'indiqué dans la demande d'approbation éthique)</i> | <i>N/A</i> |

**La présente est valide jusqu'au 11 décembre 2019.
Rapport de statut attendu pour le 11 novembre 2019 (rapport final).**

N.B. le rapport de statut est disponible à partir du lien suivant : <http://recherche.uqac.ca/rapport-de-statut/>

Date d'émission initiale de l'approbation : *11 décembre 2018*
Date(s) de renouvellement de l'approbation :



Tommy Chevette,
Professeur et président du Comité d'éthique de la
recherche avec des êtres humains de l'UQAC

A.2 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-200 (RENOUVELLEMENT 1)



Le 03 avril 2020

RENOUVELLEMENT DE L'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'un renouvellement de l'approbation éthique émise par le CER-UQAC et qu'il satisfait aux exigences de la politique de l'Université du Québec à Chicoutimi en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains.

Projet # : 2019-200, 602.636.01

Titre du projet de recherche

Système de reconnaissance d'activités relatives à l'hygiène corporelle

Chercheur principal à l'UQAC

Kevin Chapron, Étudiant (Doctorat en sciences et technologies de l'information)
département d'informatique et de mathématique, UQAC

Chercheur principal - autre institution

Kevin Chapron, Étudiant (Doctorat en sciences et technologies de l'information)
département d'informatique et de mathématique, UQAC

Direction / Codirection de recherche

En provenance de l'UQAC: Sebastien Gaboury; Kevin Bouchard

Cochercheur(s)

En provenance de l'UQAC: Patrick Lapointe

Financement : CRSNG / FUQAC

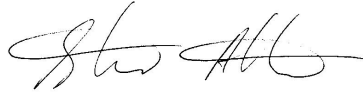
Date de l'approbation éthique initiale du projet : 11 décembre 2018

Date du prochain renouvellement : 11 décembre 2020.

N.B. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat afin de remplir le formulaire F7 - Renouvellement annuel.

- Si votre projet termine avant la date du prochain renouvellement, vous devrez remplir le formulaire *F9 - Fin de projet*.
- Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire *F8 - Modification de projet*.
- Tout nouveau membre de votre équipe de recherche devra être déclaré au CER-UQAC lors de votre prochaine demande de renouvellement ou lors de la fin de votre projet si le renouvellement n'est pas requis. ATTENTION: Vous devez faire signer une déclaration d'honneur aux personnes ayant accès aux participants (où à des données nominales sur les participants) et la conserver dans vos dossiers de recherche.
- Si vous avez des cochercheurs dans d'autres universités, veuillez leur transmettre ce certificat.
- Si votre projet est financé, le Décanat de la recherche et de la création sera mis en copie conforme afin de l'informer du renouvellement de votre certification éthique.

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi



Stéphane Allaire

A.3 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-200 (RENOUVELLEMENT 2)



Le 05 octobre 2020

RENOUVELLEMENT DE L'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'un renouvellement de l'approbation éthique émise par le CER-UQAC et qu'il satisfait aux exigences de la politique de l'Université du Québec à Chicoutimi en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains.

Projet # : 2019-200, 602.636.01

Titre du projet de recherche: Système de reconnaissance d'activités relatives à l'hygiène corporelle

Chercheur principal à l'UQAC

Kevin Chapron, Étudiant (Doctorat en sciences et technologies de l'information)
département d'informatique et de mathématique, UQAC

Direction / Codirection de recherche

En provenance de l'UQAC: Sebastien Gaboury; Kevin Bouchard

Cochercheur(s)

En provenance de l'UQAC: Patrick Lapointe

Financement

Date de l'approbation éthique initiale du projet : 11 décembre 2018

Date du prochain renouvellement : 11 décembre 2021.

N.B. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat afin de remplir le formulaire F7 - Renouvellement annuel.

- Si votre projet se termine avant la date du prochain renouvellement, vous devrez remplir le formulaire **F9 - Fin de projet**.
- Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire **F8 - Modification de projet**.
- Tout nouveau membre de votre équipe de recherche devra être déclaré au CER-UQAC lors de votre prochaine demande de renouvellement ou lors de la fin de votre projet si le renouvellement n'est pas requis. ATTENTION: Vous devez faire signer une déclaration d'honneur aux personnes ayant accès aux participants (ou à des données nominatives sur les participants) et la conserver dans vos dossiers de recherche.
- Si vous avez des cochercheurs dans d'autres universités, veuillez leur transmettre ce certificat.
- Si votre projet est financé, le Décanat de la recherche et de la création sera mis en copie conforme afin de l'informer du renouvellement de votre certification éthique.

Stéphane Allaire

A.4 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-201

UQAC

Comité d'éthique de la recherche
Université du Québec à Chicoutimi

CERTIFICAT ÉTHIQUE

Dans le cadre de l'Énoncé de politique des trois conseils : éthique de la recherche avec des êtres humains 2 (2014) et conformément au mandat qui lui a été confié par la résolution CAD-7163 du Conseil d'administration de l'Université du Québec à Chicoutimi, approuvant la Politique d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAC, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Chicoutimi, à l'unanimité, délivre la présente approbation éthique puisque le projet de recherche mentionné ci-dessous rencontre les exigences en matière éthique et remplit les conditions d'approbation dudit Comité.

Les membres jugent que ce projet rencontre les critères d'une recherche à risque minimal.

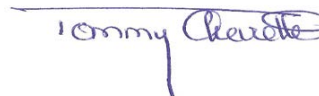
| | |
|---|--|
| Responsable(s) du projet de recherche : | <i>Monsieur Kevin Chapron, Étudiant Doctorat en informatique et mathématique, UQAC</i> |
| Direction de recherche : <i>(telle qu'indiquée dans la demande d'approbation éthique)</i> | <i>Monsieur Sébastien Gaboury, Professeur Département d'informatique et de mathématique</i> |
| Codirection de recherche : <i>(telle qu'indiquée dans la demande d'approbation éthique)</i> | <i>Monsieur Kévin Bouchard, Professeur Département d'informatique et de mathématique</i> |
| Projet de recherche intitulé : | <i>Validation d'un module de détection de la vitesse de déplacement d'un individu et de son identification</i> |
| No référence du certificat : | <i>602.636.02</i> |
| Financement : | <i>N/A</i> |

La présente est valide jusqu'au 14 février 2020.

Rapport de statut attendu pour le 14 janvier 2020 (rapport final).

N.B. le rapport de statut est disponible à partir du lien suivant : <http://recherche.uqac.ca/rapport-de-statut/>

Date d'émission initiale de l'approbation : *14 février 2019*



Tommy Chevette,
Professeur et président du Comité d'éthique de la
recherche avec des êtres humains de l'UQAC

A.5 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-201 (RENOUVELLEMENT 1)



Le 03 avril 2020

RENOUVELLEMENT DE L'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'un renouvellement de l'approbation éthique émise par le CER-UQAC et qu'il satisfait aux exigences de la politique de l'Université du Québec à Chicoutimi en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains.

Projet # : 2019-201, 602.636.02

Titre du projet de recherche

Validation d'un module de détection de la vitesse de déplacement d'un individu et de son identification

Chercheur principal à l'UQAC

Kevin Chapron, Étudiant (Doctorat en sciences et technologies de l'information)
département d'informatique et de mathématique, UQAC

Direction / Codirection de recherche

En provenance de l'UQAC: Sébastien Gaboury; Kevin Bouchard

Cochercheur(s)

En provenance de l'UQAC: (donnée introuvable)
En provenance de l'externe: (donnée introuvable)

Financement : CRSNG / FUQAC

Date de l'approbation éthique initiale du projet : 14 février 2019

Date du prochain renouvellement : 14 février 2021.

N.B. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat afin de remplir le formulaire F7 - Renouvellement annuel.

- Si votre projet termine avant la date du prochain renouvellement, vous devrez remplir le formulaire *F9 - Fin de projet*.
- Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire *F8 - Modification de projet*.
- Tout nouveau membre de votre équipe de recherche devra être déclaré au CER-UQAC lors de votre prochaine demande de renouvellement ou lors de la fin de votre projet si le renouvellement n'est pas requis. ATTENTION: Vous devez faire signer une déclaration d'honneur aux personnes ayant accès aux participants (où à des données nominales sur les participants) et la conserver dans vos dossiers de recherche.
- Si vous avez des cochercheurs dans d'autres universités, veuillez leur transmettre ce certificat.
- Si votre projet est financé, le Décanat de la recherche et de la création sera mis en copie conforme afin de l'informer du renouvellement de votre certification éthique.

NAGANO Approbation du renouvellement par le comité d'éthique
www.semweb.ca Université du Québec à Chicoutimi - 555, boulevard de l'Université, Chicoutimi (Québec), G7H 2B1

1 / 2

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi
Stéphane Allaire

A.6 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-201 (RENOUVELLEMENT 2)



Le 29 janvier 2021

RENOUVELLEMENT DE L'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'un renouvellement de l'approbation éthique émise par le CER-UQAC et qu'il satisfait aux exigences de la politique de l'Université du Québec à Chicoutimi en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains.

Projet # : 2019-201, 602.636.02

Titre du projet de recherche: Validation d'un module de détection de la vitesse de déplacement d'un individu et de son identification

Chercheur principal à l'UQAC

Kevin Chapron, Étudiant (Doctorat en sciences et technologies de l'information)
département d'informatique et de mathématique, UQAC

Direction / Codirection de recherche

En provenance de l'UQAC: Sebastien Gaboury; Kevin Bouchard

Financement : CRSNG / FUQAC

Date de l'approbation éthique initiale du projet : 14 février 2019

Date du prochain renouvellement : 14 février 2022.

N.B. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat afin de remplir le formulaire F7 - Renouvellement annuel.

- Si votre projet se termine avant la date du prochain renouvellement, vous devrez remplir le formulaire **F9 - Fin de projet**.
- Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire **F8 - Modification de projet**.
- Tout nouveau membre de votre équipe de recherche devra être déclaré au CER-UQAC lors de votre prochaine demande de renouvellement ou lors de la fin de votre projet si le renouvellement n'est pas requis. **ATTENTION:** Vous devez faire signer une déclaration d'honneur aux personnes ayant accès aux participants (ou à des données nominatives sur les participants) et la conserver dans vos dossiers de recherche.
- Si vous avez des cochercheurs dans d'autres universités, veuillez leur transmettre ce certificat.
- Si votre projet est financé, le Décanat de la recherche et de la création sera mis en copie conforme afin de l'informer du renouvellement de votre certification éthique.

Stéphane Allaire

A.7 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-220



CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'une évaluation en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains et qu'il satisfait aux exigences de la politique de l'UQAC en cette matière.

Les membres jugent que ce projet rencontre les critères d'une recherche à risque minimal.

Projet # : 2019-220

Titre du projet de recherche : Reconnaissance d'activités dans un habitat intelligent

Chercheur principal :
Camille Bertuolia, Étudiant
Maîtrise en informatique
Département d'informatique et de mathématique

Directeur/codirecteur :
En provenance de l'UQAC:
Kevin Bouchard, Professeur
Département d'informatique et de mathématique
Sebastien Gaboury, Professeur
Département d'informatique et de mathématique
Julien Maitre, Chargé de cours
Département d'informatique et de mathématique

Financement : Programme de soutien à la valorisation et au transfert (PSVT) du ministère de l'Économie et de l'Innovation (MESI) (financement de Kevin Bouchard)

Date d'approbation du projet : 21 mai 2019

Date d'entrée en vigueur du certificat : 21 mai 2019

Date d'échéance du certificat : 21 mai 2020

Tommy Chevette

A.8 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-220 (RENOUVELLEMENT)



Le 10 mars 2020

RENOUVELLEMENT DE L'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'un renouvellement de l'approbation éthique émise par le CER-UQAC et qu'il satisfait aux exigences de la politique de l'Université du Québec à Chicoutimi en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains.

Projet # : 2019-220

Titre du projet de recherche

Reconnaissance d'activités dans un habitat intelligent

Chercheur principal à l'UQAC

Camille Bertuglia, étudiante
département d'informatique et de mathématique, UQAC

Direction / Codirection de recherche

En provenance de l'UQAC: Kevin Bouchard; Sebastien Gaboury; Julien Maitre

Cochercheur(s)

En provenance de l'UQAC: Kevin Chapron; Patrick Lapointe

Financement PSVT

Date de l'approbation éthique initiale du projet : 21 mai 2019

Date du prochain renouvellement : 21 mai 2021.

N.B. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat afin de remplir le formulaire F7 - Renouvellement annuel.

- Si votre projet termine avant la date du prochain renouvellement, vous devrez remplir le formulaire *F9 - Fin de projet*.
- Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire *F8 - Modification de projet*.
- Tout nouveau membre de votre équipe de recherche devra être déclaré au CER-UQAC lors de votre prochaine demande de renouvellement ou lors de la fin de votre projet si le renouvellement n'est pas requis. ATTENTION: Vous devez faire signer une déclaration d'honneur aux personnes ayant accès aux participants (où à des données nominales sur les participants) et la conserver dans vos dossiers de recherche.
- Si vous avez des cochercheurs dans d'autres universités, veuillez leur transmettre ce certificat.
- Si votre projet est financé, le Décanat de la recherche et de la création sera mis en copie conforme afin de l'informer du renouvellement de votre certification éthique.

Stéphane Allaire

A.9 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-035 (CIUSSS)

Centre intégré
universitaire de santé
et de services sociaux
du Saguenay-
Lac-Saint-Jean

Québec 

Direction de la recherche

Le 25 juin 2019

Madame Elise Duchesne, Ph. D.
Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard de l'Université, H2-1030
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1

Objet : Approbation éthique finale du Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean

Titre du projet : Développement d'une technologie d'assistance à domicile pour les personnes atteintes de dystrophie myotonique de type 1 visant à améliorer la capacité musculaire et fonctionnelle

Numéro de projet attribué par le CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean : 2019-035

Madame,

Le Comité d'éthique de la recherche du Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean a évalué votre projet de recherche à sa réunion tenue le 25 juin 2019. Lors de cette réunion, le comité a examiné les documents suivants :

1. Lettre d'approbation scientifique finale, datée du 7 juin 2019
2. Lettre de présentation, datée du 23 mai 2019
3. Formulaire de demande d'évaluation éthique, signé le 23 mai 2019
4. Protocole de recherche intitulé : Développement d'une technologie d'assistance à domicile pour les personnes atteintes de dystrophie myotonique de type 1 visant à améliorer la capacité musculaire et fonctionnelle, daté du 23 mai 2019
5. Formulaire d'information et de consentement, daté du 19 juin 2019
6. Questionnaire d'informations générales, daté du 3 mai 2019
7. Avis d'octroi du regroupement stratégique INTER, daté du 8 janvier 2019
8. Budget
9. Lettre d'appui de la chef en réadaptation déficience physique, Jonquière, datée du 16 mai 2019
10. Formulaire d'étude de la convenance institutionnelle, signé le 1^{er} mai 2019
11. Document – Demande de consultation de dossiers pour fins d'étude, signé le 9 avril 2019
12. Curriculum vitae de :
 - a. Benjamin Gallais, Ph. D.
 - b. Kévin Bouchard, Ph. D.
 - c. Sébastien Gaboury, Ph. D.
13. Document UQAC – Autorisation – Accès au dossier, signé le 3 mai 2019
14. Document UQAC – Autorisation – Dépôt d'une demande de certification éthique, signé par le doyen le 27 mai 2019

Affilié
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ DE SHELBURNE

305, rue Saint-Vallier, case postale 266
Chicoutimi (Québec) G7H 5H6
Téléphone : 418 541-1234, poste 2369
Télécopieur : 418 541-1124
www.santesaglac.com

Le Comité d'éthique de la recherche a évalué en comité plénier les aspects éthiques de votre projet de recherche.

Rappelons d'entrée de jeu que votre projet de recherche a fait l'objet d'une évaluation préliminaire. Lors de cette évaluation préliminaire, nous avons apporté des modifications au formulaire d'information et de consentement. Suite à cette évaluation préliminaire, vous nous avez fait parvenir le 19 juin 2019, la nouvelle version du formulaire d'information et de consentement pour la participation de majeurs.

Étant donné que les commentaires et les modifications avaient déjà été intégrés au document et que nous n'avions pas d'autres commentaires à formuler suite à notre réunion, nous avons donc le plaisir de vous informer que votre projet de recherche a été approuvé, tel quel, à l'unanimité par le Comité.

Les documents que le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean a approuvés et que vous pouvez utiliser pour la réalisation de votre projet sont les suivants :

1. Protocole de recherche intitulé : Développement d'une technologie d'assistance à domicile pour les personnes atteintes de dystrophie myotonique de type 1 visant à améliorer la capacité musculaire et fonctionnelle, daté du 25 juin 2019
2. Formulaire d'information et de consentement, daté du 25 juin 2019
3. Questionnaire d'informations générales, daté du 25 juin 2019

Cette approbation éthique est valide pour un an à compter du 25 juin 2019, date de l'approbation éthique finale. Cette décision peut être suspendue ou révoquée en cas de non-respect de ces exigences.

Un mois avant la date d'échéance vous devrez faire une demande de renouvellement auprès du Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean en utilisant le document du Comité prévu à cet effet.

Si un mois après l'échéance le Comité n'a rien reçu, il procédera à la fermeture du projet de recherche sans autre avis. Ceci signifie que vous devrez recommencer tout le processus d'évaluation et d'autorisation pour le projet ciblé si vous souhaitez continuer le projet.

Dans le cadre du suivi continu, le Comité vous demande de vous conformer aux exigences suivantes en utilisant les formulaires du Comité prévus à cet effet :

1. De soumettre toute demande de modification au projet de recherche ou à tout document approuvé par le Comité pour la réalisation de votre projet.
2. De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, tout nouveau renseignement ou toute modification à l'équilibre clinique susceptible d'affecter l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche, d'accroître les risques et les inconvénients pour les participants, de nuire au bon déroulement du projet ou d'avoir une incidence sur le désir d'un participant de continuer à participer au projet.
3. De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance et en lien avec la réalisation de ce projet, tout accident survenu dans votre site.
4. De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, l'interruption prématurée du projet de recherche, qu'elle soit temporaire ou permanente.
5. De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, tout problème constaté à la suite d'une activité de surveillance ou de vérification menée par un tiers et susceptible de remettre en question l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche

6. De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, toute suspension ou annulation de l'approbation octroyée par un organisme de subvention ou de réglementation.
7. De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, toute procédure en cours de traitement d'une plainte ou d'une allégation de manquement à l'intégrité ou à l'éthicité ainsi que des résultats de la procédure.
8. De soumettre, toute déviation au projet de recherche susceptible d'augmenter le niveau de risque ou susceptibles d'influer sur le bien-être du participant ou d'entacher le consentement du participant.
9. De soumettre une demande de renouvellement annuel de l'approbation du projet de recherche.
10. De soumettre le rapport de la fin du projet de recherche.

Nous vous informons que nous acheminerons l'approbation éthique finale de votre projet à la personne formellement mandatée responsable au CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean pour que vous puissiez obtenir l'autorisation de réaliser votre projet dans les murs de l'établissement.

Nous vous avisons également que vous ne pouvez commencer votre projet avant d'avoir obtenu l'autorisation de la personne formellement mandatée responsable au CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

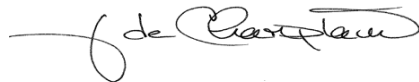
De plus, nous vous rappelons que vous devez conserver pour une période d'au moins un an suivant la fin du projet, un répertoire distinct comprenant les noms, prénoms, coordonnées, date du début et de fin de la participation de chaque sujet de recherche.

Nous vous demandons d'utiliser pour votre projet le numéro de référence suivant 2019-035 pour toute correspondance avec le Comité d'éthique de la recherche.

Nous vous confirmons qu'aucune des personnes qui ont procédé à l'évaluation n'était placée dans une situation de conflit d'intérêts.

Le Comité d'éthique de la recherche du Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean est désigné par le ministre de la Santé et des Services sociaux aux fins de l'application de l'article 21 du Code civil du Québec et suit les règles émises par l'Énoncé de politique des trois conseils et les Bonnes pratiques cliniques telles qu'élaborées par la Conférence internationale sur l'harmonisation (CIH).

Veillez recevoir l'expression de nos sentiments les meilleurs.



Johane de Champlain, vice-présidente substitut
Comité d'éthique de la recherche
CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean
JdeC/ah

c.c. Isabelle Côté, professionnelle de recherche : isabelle.cote7@usherbrooke.ca

Dr Martin Fortin, M.D., personne formellement mandatée responsable CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean

réf. : 01-2019-035 Lettre app éthique finale 2019-06-25.docx

A.10 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-035 (CIUSSS, RENOUVELLEMENT 1)



Le 28 mai 2020

Madame Elise Duchesne, Ph. D.
Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard Université local H2-1030
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1

Objet : Renouvellement annuel de l'approbation éthique de votre projet au CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean - R1 - formulaire [F9-756](#)

Titre : Développement d'une technologie d'assistance à domicile pour les personnes atteintes de dystrophie myotonique de type 1 visant à améliorer la capacité musculaire et fonctionnelle

Numéro du projet : 2019-035 Entraînement à domicile

Identifiant Nagano : [2020-7](#)

Madame,

Vous avez soumis au Comité d'éthique de la recherche du Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean, le 27 mai 2020, une demande de renouvellement de l'approbation éthique à l'égard de votre projet.

Votre demande de renouvellement a fait l'objet d'une évaluation. Suite à cette évaluation, le tout étant jugé satisfaisant, j'ai le plaisir de vous informer que votre demande de renouvellement a été approuvée par le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

Ainsi, vous pouvez poursuivre votre étude pour un an, et ce, à compter du 25 juin 2020 jusqu'au 25 juin 2021.

UN mois avant la date d'échéance, vous devrez faire une demande de renouvellement auprès du Comité d'éthique de la recherche CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean en utilisant le formulaire de demande de renouvellement annuel - formulaire 9 prévu à cet effet dans Nagano.

Si un mois après la date d'échéance le Comité n'a rien reçu, il procédera à la fermeture du projet de recherche sans autre avis. Dans l'éventualité où vous voudriez réaliser ce projet de recherche, vous devrez le soumettre à nouveau. Ce dernier fera l'objet d'une nouvelle évaluation réalisée par le Comité d'éthique de la recherche et le Comité de la convenance institutionnelle et il devra par la suite faire l'objet d'une autorisation émise par la personne formellement mandatée.

Nous vous rappelons que dans le cadre de son suivi continu, le Comité vous demande de vous conformer aux exigences suivantes en utilisant les formulaires du Comité prévus à cet effet :

- De soumettre toute demande de modification au projet de recherche ou à tout document approuvé par le Comité pour la réalisation de votre projet.
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, tout nouveau renseignement ou toute modification à l'équilibre clinique susceptible d'affecter l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche, d'accroître les risques et les inconvénients pour les participants, de nuire au bon déroulement du projet ou d'avoir une incidence sur le désir d'un participant de continuer à participer au projet.
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance et en lien avec la réalisation de ce projet, tout accident survenu dans votre site.
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, l'interruption prématurée du projet de recherche,

- qu'elle soit temporaire ou permanente.
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, tout problème constaté à la suite d'une activité de surveillance ou de vérification menée par un tiers et susceptible de remettre en question l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, toute suspension ou annulation de l'approbation octroyée par un organisme de subvention ou de réglementation.
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, toute procédure en cours de traitement d'une plainte ou d'une allégation de manquement à l'intégrité ou à l'éthicité ainsi que des résultats de la procédure.
- De soumettre, toute déviation au projet de recherche susceptible d'augmenter le niveau de risque ou susceptibles d'influer sur le bien-être du participant ou d'entacher le consentement du participant.
- De soumettre une demande de renouvellement annuel de l'approbation du projet de recherche.
- De soumettre le rapport de la fin du projet de recherche.

De plus, nous vous rappelons que vous devez conserver pour une période d'au moins un an suivant la fin du projet, un répertoire distinct comprenant les noms, prénoms, coordonnées, date du début et de fin de la participation de chaque sujet de recherche.

Finalement, nous vous mentionnons que la présente décision vaut pour une année et peut être suspendue ou révoquée en cas de non-respect de ces exigences.

Le Comité d'éthique de la recherche du Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean est désigné par le ministre de la Santé et des Services sociaux aux fins de l'application de l'article 21 du Code civil du Québec et suit les règles émises par l'Énoncé de politique des trois conseils et les Bonnes pratiques cliniques de la CIH.

Recevez l'expression de nos sentiments les meilleurs.



Madame Johane de Champlain
Vice-présidente
Comité d'éthique de la recherche
CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean

A.11 APPROBATION ÉTHIQUE 2019-035 (CIUSSS, RENOUELEMENT 2)



Le 16 juin 2021

Madame Elise Duchesne, Ph. D.
Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard Université, local H2-1030
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1

Objet : Renouvellement annuel de l'approbation éthique de votre projet au CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean - R2 - formulaire [F9-1218](#)

Titre : Développement d'une technologie d'assistance à domicile pour les personnes atteintes de dystrophie myotonique de type 1 visant à améliorer la capacité musculaire et fonctionnelle

Numéro du projet : 2019-035

Identifiant Nagano : [2020-7](#)

Madame,

Vous avez soumis au Comité d'éthique de la recherche du Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean, le 15 juin 2021, une demande de renouvellement de l'approbation éthique à l'égard de votre projet.

Votre demande de renouvellement a fait l'objet d'une évaluation. Suite à cette évaluation, le tout étant jugé satisfaisant, j'ai le plaisir de vous informer que votre demande de renouvellement a été approuvée par le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

Ainsi, vous pouvez poursuivre votre étude pour un an, et ce, à compter du 25 juin 2021 jusqu'au 25 juin 2022.

UN mois avant la date d'échéance, vous devrez faire une demande de renouvellement auprès du Comité d'éthique de la recherche CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean en utilisant le formulaire de demande de renouvellement annuel - formulaire 9 prévu à cet effet dans Nagano.

Si un mois après la date d'échéance le Comité n'a rien reçu, il procédera à la fermeture du projet de recherche sans autre avis. Dans l'éventualité où vous voudriez réaliser ce projet de recherche, vous devrez le soumettre à nouveau. Ce dernier fera l'objet d'une nouvelle évaluation réalisée par le Comité d'éthique de la recherche et le Comité de la convenance institutionnelle et il devra par la suite faire l'objet d'une autorisation émise par la personne formellement mandatée.

Nous vous rappelons que dans le cadre de son suivi continu, le Comité vous demande de vous conformer aux exigences suivantes en utilisant les formulaires du Comité prévus à cet effet :

- De soumettre toute demande de modification au projet de recherche ou à tout document approuvé par le Comité pour la réalisation de votre projet.
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, tout nouveau renseignement ou toute modification à l'équilibre clinique susceptible d'affecter l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche, d'accroître les risques et les inconvénients pour les participants, de nuire au bon déroulement du projet ou d'avoir une incidence sur le désir d'un participant de continuer à participer au projet.
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance et en lien avec la réalisation de ce projet, tout accident survenu dans votre site.
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, l'interruption prématurée du projet de recherche, qu'elle soit temporaire ou permanente.

- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, tout problème constaté à la suite d'une activité de surveillance ou de vérification menée par un tiers et susceptible de remettre en question l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, toute suspension ou annulation de l'approbation octroyée par un organisme de subvention ou de réglementation.
- De soumettre, dès que cela est porté à votre connaissance, toute procédure en cours de traitement d'une plainte ou d'une allégation de manquement à l'intégrité ou à l'éthicité ainsi que des résultats de la procédure.
- De soumettre, toute déviation au projet de recherche susceptible d'augmenter le niveau de risque ou susceptibles d'influer sur le bien-être du participant ou d'entacher le consentement du participant.
- De soumettre une demande de renouvellement annuel de l'approbation du projet de recherche.
- De soumettre le rapport de la fin du projet de recherche.

De plus, nous vous rappelons que vous devez conserver pour une période d'au moins un an suivant la fin du projet, un répertoire distinct comprenant les noms, prénoms, coordonnées, date du début et de fin de la participation de chaque sujet de recherche.

Finalement, nous vous mentionnons que la présente décision vaut pour une année et peut être suspendue ou révoquée en cas de non-respect de ces exigences.

Le Comité d'éthique de la recherche du Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean est désigné par le ministre de la Santé et des Services sociaux aux fins de l'application de l'article 21 du Code civil du Québec et suit les règles émises par l'Énoncé de politique des trois conseils et les Bonnes pratiques cliniques de la CIH.

Recevez l'expression de nos sentiments les meilleurs.



Madame Johane de Champlain
Vice-présidente
Comité d'éthique de la recherche
CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean

A.12 APPROBATION ÉTHIQUE 2020-223



CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'une reconnaissance en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains selon l'Entente entre le CIUSSS-SLSJ et l'UQAC.

Projet # : 2020-223 (CIUSSS - 2019-035)

Titre du projet de recherche : Développement d'une technologie d'assistance à domicile pour les personnes atteintes de dystrophie myotonique de type 1 visant à améliorer la capacité musculaire et fonctionnelle

Chercheur principal :

Sébastien Gaboury, Professeur
Département d'informatique et de mathématique, Université du Québec à Chicoutimi

Cochercheur :

Élise Duchesne, Professeure
Département des sciences de la santé, Université du Québec à Chicoutimi

Financement : Subvention du regroupement stratégique INTER – Ingénierie de technologies interactives en réadaptation, financé par le Fonds de recherche du Québec nature et technologies (FRQNT)

Date d'approbation du projet : 22 août 2019

Date d'entrée en vigueur du certificat : 22 août 2019

Date d'échéance du certificat : 22 août 2020

Stéphane Allaire

A.13 APPROBATION ÉTHIQUE 2020-223 (RENOUVELLEMENT)



Le 22 juin 2020

RENOUVELLEMENT DE L'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'un renouvellement de l'approbation éthique émise par le CER-UQAC et qu'il satisfait aux exigences de la politique de l'Université du Québec à Chicoutimi en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains.

***** IMPORTANT-COVID-19:** Tout projet impliquant des interactions en personnes **ne peut se poursuivre d'ici le 1er septembre 2020**, à moins d'avoir obtenu une autorisation spécifique du CER à cet effet. Cette consigne sera révisée au cours du mois d'août selon l'évolution des mesures de protection sanitaire émises par la Santé publique.***

Projet # : 2020-223, 2019-035 (CIUSSS-SLSJ), 2020-7 (CIUSSS-SLSJ)

Titre du projet de recherche: Développement d'une technologie d'assistance à domicile pour les personnes atteintes de dystrophie myotonique de type 1 visant à améliorer la capacité musculaire et fonctionnelle

Chercheur principal à l'UQAC

Sebastien Gaboury, Professeur
département d'informatique et de mathématique, Université du Québec à Chicoutimi

Financement : FRQNT

Date de l'approbation éthique initiale du projet : 22 août 2019

Date du prochain renouvellement : 22 août 2021.

N.B. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat afin de remplir le formulaire F7 - Renouvellement annuel.

- Si votre projet se termine avant la date du prochain renouvellement, vous devrez remplir le formulaire **F9 - Fin de projet**.
- Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire **F8 - Modification de projet**.
- Tout nouveau membre de votre équipe de recherche devra être déclaré au CER-UQAC lors de votre prochaine demande de renouvellement ou lors de la fin de votre projet si le renouvellement n'est pas requis. ATTENTION: Vous devez faire signer une déclaration d'honneur aux personnes ayant accès aux participants (ou à des données nominatives sur les participants) et la conserver dans vos dossiers de recherche.
- Si vous avez des cochercheurs dans d'autres universités, veuillez leur transmettre ce certificat.
- Si votre projet est financé, le Décanat de la recherche et de la création sera mis en copie conforme afin de l'informer du renouvellement de votre certification éthique.

NAGANO Renouvellement approuvé par le CER-UQAC
www.semweb.ca Université du Québec à Chicoutimi - 555, boulevard de l'Université, Chicoutimi (Québec), G7H 2B1

1 / 2

A.14 APPROBATION ÉTHIQUE 2020-223 (RENOUVELLEMENT 2)



Le 02 septembre 2021

RENOUVELLEMENT DE L'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'un renouvellement de l'approbation éthique émise par le CER-UQAC et qu'il satisfait aux exigences de la politique de l'Université du Québec à Chicoutimi en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains.

Projet # : 2020-223, 2019-035 (CIUSSS-SLSJ), 2020-7 (CIUSSS-SLSJ)

Titre du projet de recherche: Développement d'une technologie d'assistance à domicile pour les personnes atteintes de dystrophie myotonique de type 1 visant à améliorer la capacité musculaire et fonctionnelle

Chercheur principal à l'UQAC

Sebastien Gaboury, Professeur
département d'informatique et de mathématique, Université du Québec à Chicoutimi

Financement : FRQNT

Date de l'approbation éthique initiale du projet : 22 août 2019

Date du prochain renouvellement : 22 août 2022.

N.B. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat afin de remplir le formulaire F7 - Renouvellement annuel.

-
- Si votre projet se termine avant la date du prochain renouvellement, vous devrez remplir le formulaire **F9 - Fin de projet**.
 - Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire **F8 - Modification de projet**.
 - Tout nouveau membre de votre équipe de recherche devra être déclaré au CER-UQAC lors de votre prochaine demande de renouvellement ou lors de la fin de votre projet si le renouvellement n'est pas requis. **ATTENTION:** Vous devez faire signer une déclaration d'honneur aux personnes ayant accès aux participants (ou à des données nominatives sur les participants) et la conserver dans vos dossiers de recherche.
 - Si vous avez des cochercheurs dans d'autres universités, veuillez leur transmettre ce certificat.
 - Si votre projet est financé, le Décanat de la recherche et de la création sera mis en copie conforme afin de l'informer du renouvellement de votre certification éthique.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Stéphane Allaire', is written over a horizontal line.

Stéphane Allaire