



**HAL**  
open science

# Etude et conception d'un système de télésurveillance et de détection de situations critiques "par suivi actimétrique" des personnes à risque en milieu Indoor et Outdoor

Walid Bourennane

► **To cite this version:**

Walid Bourennane. Etude et conception d'un système de télésurveillance et de détection de situations critiques "par suivi actimétrique" des personnes à risque en milieu Indoor et Outdoor. Micro et nanotechnologies/Microélectronique. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2013. Français. NNT: . tel-00903767v1

**HAL Id: tel-00903767**

**<https://theses.hal.science/tel-00903767v1>**

Submitted on 13 Nov 2013 (v1), last revised 28 Jan 2014 (v2)

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

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



# THÈSE

En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse 2 Le Mirail (UT2 Le Mirail)

---

**Présentée et soutenue par :**

**Walid BOURENNANE**

le mercredi 25 septembre 2013

**Titre :**

Etude et conception d'un système de télésurveillance et de détection de situations critiques « par suivi actimétrique » des personnes à risques en milieu Indoor et Outdoor

---

**École doctorale et discipline ou spécialité :**

ED GEET : Électronique

**Unité de recherche :**

LAAS-CNRS

**Directeur(s) de Thèse :**

M. Eric Campo

Professeur, Université de Toulouse 2

M. Daniel Estève

Directeur de Recherches Emérite, LAAS-CNRS

**Jury :**

M. Kun-Mean Hou

Professeur, Université de Clermont-Ferrand 2

Président

M. Norbert Noury

Professeur, Université de Lyon 1

Rapporteur

Mme. Bernadette Dorizzi

Professeur, Télécom Sud Paris

Rapporteur

M. Jacques Duchêne

Professeur, Université Technologique de Troyes

Examinateur

M. Pierre Rumeau

Médecin des Hôpitaux, CHU Toulouse-Gérontopôle

Invité





# Remerciements

*Le travail de thèse présenté dans ce manuscrit a été effectué au LAAS-CNRS dirigé par M. Jean ARLAT, et particulièrement au sein du groupe Nano Ingénierie et Intégration des Systèmes « N2IS » dirigé par M. Jean-Yves FOURNIOLS, que je remercie particulièrement pour leur accueil.*

*Je tiens à remercier profondément mon directeur de thèse M. Eric CAMPO, Professeur à l'Université de Toulouse 2-Le Mirail, de m'avoir confié ce travail ainsi que pour son encadrement et ses orientations avisées tout au long de ce travail. Je le remercie vivement pour le soutien technique et humain qu'il m'a apporté. Je remercie également mon co-directeur de thèse M. Daniel ESTÈVE, Directeur de recherche Emérite, pour sa disponibilité et ses précieux conseils qui m'ont permis d'améliorer ce travail.*

*Je tiens à remercier M. Norbert NOURY, Professeur à l'Université Claude Bernard-Lyon 1 et Mme Bernadette DORIZZI, Professeur à Télécom Sud-Paris, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant d'en être les rapporteurs et pour leurs remarques constructives. Je remercie également M. Kun-Mean HOU Professeur à l'Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand et M. Jacques DUCHENE, Professeur à l'Université technologique de Troyes, pour avoir accepté d'examiner mon travail. Enfin, je remercie M. Pierre RUMEAU, médecin au CHU de Toulouse et chercheur au Gérontopôle qui a suivi mes travaux avec intérêt et apporté son expertise très éclairée.*

*J'adresse mes remerciements aussi à Mme Marie CHAN, M. Damien BRULIN, de m'avoir conseillé dans la rédaction de ce manuscrit. Je remercie également mes collègues Fehd BETTAHAR et Yoann CHARLON pour leur implication dans la réalisation des travaux présentés dans ce manuscrit.*

*J'exprime également ma gratitude à Mme Anne ESTÈVE, psychologue à l'Hôpital local de Caussade et tout le personnel du service des Tournesols, Médecins et aides soignantes, pour leur réactivité et leur implication dans le projet Homecare. Une réactivité qui m'a permis d'atteindre les objectifs de mon travail.*

*J'adresse également mes remerciements à Youssouf et Aziz pour leur aide, leur soutien moral et leurs précieux partages d'expérience.*

*Je remercie chaleureusement mes amis du labo : Mustapha, Hamza, Hamada et son épouse Samia, Sabiha, Hakim, Élias, Elyamine, Andrés, ainsi que mes amis du « Bled » : Djalal et Sofiane, Mohamed Ali, Mohamed, Wifak, Fateh, pour les bons moments que j'ai pu passer avec eux.*

*Qu'il me soit permis de remercier très profondément mes chers parents, à qui je dédie cette thèse, pour m'avoir soutenu constamment durant toute ma vie et pour avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Sans oublier également mes frères et plus particulièrement Imad qui m'a tant supporté pendant toute la période de mes études en France. Je profite de ces quelques lignes pour remercier aussi mes tantes Chafia et Naima pour avoir pris soin de moi pendant une partie de ma vie d'étudiant.*

*Je ne saurais terminer sans remercier très affectueusement mon épouse Radia pour avoir été à mes côtés dans les moments difficiles, pour ses encouragements et surtout pour sa patience.*

**Walid BOURENNANE**

*A mes parents,  
A mes frères,  
A mon Epouse.*



## Résumé

Le vieillissement rapide de la population implique une évolution du système de soins pour prendre en charge les personnes dépendantes dont la proportion ne cesse de croître. Une option possible est de développer et de mettre en œuvre une technologie d'assistance à domicile. Ce travail de thèse consiste à concevoir et à expérimenter des solutions de « surveillance » multicapteurs : déploiement de capteurs dans l'environnement réel du patient, fusion multisensorielle et algorithmes de diagnostics automatiques, afin d'assurer la sécurité des personnes mais également d'aider les professionnels de santé à maintenir la qualité du suivi et des soins.

Ce manuscrit présente à travers une étude bibliographique, un état des connaissances et des pratiques sur les systèmes d'analyse des activités des personnes âgées. Ensuite, il détaille l'étape de conception du système de surveillance retenu et selon une approche fonctionnelle présente l'architecture matérielle et logicielle mise en œuvre pour répondre aux spécifications établies. Deux projets sont issus de ce travail :

- Le projet *Homecare* qui vise à expérimenter et à qualifier, au niveau opérationnel, un système complet de Télésurveillance pour les personnes âgées atteintes de la maladie d'Alzheimer.
- Le projet *BéA* qui est plutôt orienté sur la surveillance « outdoor » pour des personnes valides mais fragiles : Notre contribution a concerné la mise en place d'une architecture système qui intègre un algorithme auto-adaptatif de détection et de modélisation des déambulations par tranche horaire.

Enfin, les pistes d'un modèle économique qui définit les options offertes, aujourd'hui, au déploiement de ce type de systèmes sont discutées.

## Abstract

The aging of the population implies an evolution of the healthcare systems, in order to take over dependent people whose proportion is growing. A possible solution is to develop and implement a home care technology. In this context, this thesis work consist to design and test a multisensory monitoring system: deployment of sensors in patient environment, sensory data fusion and automatic diagnostic algorithms, in order allowing patients to live in better safety conditions and helping health professionals to give better care quality.

This manuscript presents, in the beginning, the problematic of elderly care and the state of knowledge and practices of activity analysis systems for elderly, through a literature review. Then, it describes the design step of monitoring system according to a functional approach. This approach presents the implemented hardware and software architecture in order to satisfy established specifications. We worked on two projects:

- *Homecare* System aims to experiment and validate the good working of a remote monitoring system for elderly (or disabled) suffering from Alzheimer's disease.
- *BéA* System (*Bracelet Electronique d'Autonomie*) is oriented to outdoor monitoring of able-bodied people but frail: Our contribution is to implement a system architecture which integrates a self-adaptive algorithm for detecting and modelling wandering by day-part.

For these two projects, we present the results and make a first experience feedback.

Finally, we propose a potential economic model that defines the available options that allow, today, the deployment these types of system.

<b>Introduction générale.....</b>	<b>17</b>
-----------------------------------	-----------

## Chapitre 1

### **Les systèmes de télésurveillance et de détection de situations critiques chez les personnes âgées : problématique et état de l'art**

1. Introduction .....	25
2. Problématique liée au vieillissement de la population .....	25
2.1. Quelques chiffres.....	25
2.2. La dépendance .....	26
2.3. La fragilité .....	28
3. Exigences techniques et éthiques des systèmes de télésurveillance.....	28
4. Etat des connaissances et des pratiques.....	30
4.1. Les systèmes de télésurveillance de la mobilité.....	30
4.2. Système de télésurveillance de la mobilité en « indoor » .....	32
4.3. Les systèmes de télésurveillance <i>Outdoor</i> .....	40
5. Travaux du <i>LAAS</i> .....	45
5.1. Projet <i>PROSAFE</i> .....	45
5.2. Projet <i>OURSES</i> .....	46
6. Synthèse des travaux présentés .....	47
7. Verrous à résoudre.....	48
7.1. Ouverture vers l' <i>Outdoor</i> .....	48
7.2. Mise en œuvre sur site réel.....	49
7.3. La validation clinique et industrielle.....	49
8. Conclusion.....	50



## Chapitre 2

### Conception d'une architecture de système de télésurveillance

1.	Introduction .....	53
2.	Démarche de conception .....	53
3.	Modélisation fonctionnelle de <i>Homecare</i> .....	55
3.1.	Contexte du système <i>Homecare</i> .....	55
3.2.	Cas d'utilisation du système <i>Homecare</i> .....	56
3.3.	Diagramme de séquence rapporté au cas d'utilisation principal .....	58
4.	Choix technologiques .....	59
4.1.	Réseau de capteurs utilisé.....	59
4.2.	Architecture de communication .....	61
4.3.	Principe de la localisation.....	63
4.4.	Architecture logicielle de <i>Homecare</i> .....	65
5.	Détection de la déviation comportementale .....	65
5.1.	Notion de trajectoire-déplacement .....	67
5.2.	Phase 1 : Regroupement par type de déplacement .....	67
5.3.	Phase 2 : Apprentissage non supervisé .....	70
5.4.	Phase 3 : Calcul des seuils d'alertes .....	73
6.	Conclusion.....	74

## Chapitre 3

### Une modélisation auto-adaptative pour la détection de la déambulation et l'errance

1.	Introduction .....	79
2.	La problématique de surveillance <i>Outdoor</i> .....	79
3.	Architecture logique .....	80
3.1.	Les cas d'utilisation.....	82
3.2.	L'exploitation des données.....	82
4.	Architecture physique de <i>BéA</i> .....	83
5.	Architecture logicielle .....	84
6.	Proposition d'une solution de détection d'errance auto-adaptative (Modèle personnalisé).....	86
6.1.	Phase d'apprentissage.....	86
6.2.	Phase de diagnostic .....	91
7.	Conclusion.....	91

## Chapitre 4

### Validation de concept : expérimentations et évaluation

1. Introduction .....	95
2. Déploiement en situation réelle de <i>Homecare</i> .....	96
2.1. Plan d'installation du réseau de capteurs .....	96
2.2. Interfaces de visualisation et de gestion .....	98
3. Participants .....	99
4. Résultats des expérimentations .....	100
4.1. Déviation comportementale .....	100
4.2. Activité nocturne .....	106
4.3. Détection de chute .....	109
4.4. Détection de fugue.....	112
4.5. Détection d'errance et de fugue pour les personnes fragiles ( <i>BéA</i> ) .....	112
5. Evaluation clinique des résultats de <i>Homecare</i> .....	115
5.1. Procédure d'évaluation.....	115
5.2. Interprétations cliniques des résultats.....	116
6. Fiabilité d'utilisation de <i>Homecare</i> .....	118
6.1. Acceptabilité du patch.....	118
6.2. Un suivi en temps réel .....	118
6.3. Une consultation en temps différé.....	118
7. Intérêt global de <i>Homecare</i> .....	119
8. Modèle économique de <i>Homecare</i> .....	119
9. Conclusion.....	121
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>123</b>
<b>Références .....</b>	<b>129</b>

<b>Annexe 1 .....</b>	<b>141</b>
1. Déclaration normale de la CNIL .....	141
2. Lettre de consentement.....	146
<b>Annexe 2 .....</b>	<b>147</b>
1. Tableau de suivi étude <i>Homecare</i> .....	147
2. Plan d'accompagnement du projet personnalisé .....	148
<b>Annexe 3 .....</b>	<b>149</b>
1. Inventaire Neuropsychiatrique (NPI-R) .....	149
2. Echelle de Cornell (EDD) .....	150
<b>Annexe 4 .....</b>	<b>151</b>
1. Résultats du questionnaire soignant .....	151
2. Questionnaire d'évaluation du système <i>Homecare</i> .....	154
<b>Publications personnelles .....</b>	<b>161</b>

## Table des figures

Figure 1. Pyramide des âges au 1er janvier 2012 [1].....	26
Figure 2. Évolution du ratio de dépendance économique [1].....	26
Figure 3. Vue globale sur les systèmes de télésurveillance des personnes âgées. ....	31
Figure 4. Plan d'installation du système de télésurveillance Anchor Trust/BT Telecare Project (schéma adapté de [39]). ....	34
Figure 5. La montre-bracelet <i>Vivago</i> [55]. ....	38
Figure 6. Composants du système <i>Vigi'Fall</i> [53]. ....	39
Figure 7. Le bracelet-téléphone <i>Columba</i> [65]. ....	42
Figure 8. Le bracelet <i>BlueGard</i> [68]. ....	42
Figure 9. Balise <i>Aloize</i> [69]. ....	43
Figure 10. Cycle de développement de <i>Homecare</i> . ....	54
Figure 12. Les cas d'utilisation du système <i>Homecare</i> . ....	56
Figure 11. Diagramme de contexte dynamique du système <i>Homecare</i> . ....	56
Figure 13. Diagramme de séquence rapporté au cas d'utilisation principal. ....	58
Figure 14. Architecture de la plateforme <i>Homecare</i> . ....	59
Figure 15. Capteurs de présence utilisés. ....	60
Figure 16. Module d'identification. ....	61
Figure 17. Architecture réseau de <i>Homecare</i> . ....	62
Figure 18. Algorithme de localisation. ....	64
Figure 19. Architecture logicielle de <i>Homecare</i> . ....	65
Figure 20. Processus de traitement. ....	66
Figure 21. Exemple de trajectoire. ....	67
Figure 22. Exemple d'une classification hiérarchique ascendante. ....	70
Figure 23. Algorithme hiérarchique agglomératif <i>SAHN</i> . ....	71
Figure 24. L'algorithme EM (Espérance-maximisation). ....	72
Figure 25. Algorithme <i>K-means</i> . ....	73
Figure 26. Montre-bracelet <i>BéA</i> (version V1) vue par le partenaire industriel <i>DREAMAP</i> . ...	80
Figure 27. Architecture matérielle de <i>BéA</i> . ....	84
Figure 28. Architecture logicielle de <i>BéA</i> . ....	85
Figure 29. Algorithme d'apprentissage. ....	87
Figure 30. Découpage utilisé pour le traitement. ....	87
Figure 31. Algorithme <i>Mean-shift</i> . ....	90
Figure 32. Exemple de classification. ....	90
Figure 33. Schéma fonctionnel du traitement. ....	91

Figure 34. Plan de déploiement de <i>Homecare</i> .	97
Figure 35. Application temps réel.	98
Figure 36. Application Web.	99
Figure 37. Placement du <i>Tag</i> sur le patient.	99
Figure 38. Les déplacements possibles entre les zones surveillées.	101
Figure 39. Quantité de données collectées par tranche horaire.	102
Figure 40. Classification des déplacements (chambre-couloir) sur 2 et 3 classes de la tranche horaire Matin.	103
Figure 41. Silhouette de la classification des déplacements (chambre-couloir) sur 2 et 3 classes.	103
Figure 42. Classification des déplacements (salle de vie-couloir) de la tranche horaire Après-midi.	104
Figure 43. Classification des déplacements (salle de vie-couloir) de la tranche horaire Soir.	104
Figure 44. Classification des déplacements (chambre-couloir) de la tranche horaire Nuit.	104
Figure 45. Evolution de l'indicateur $R$ (Nombre de déplacements inhabituelles/ Nombre de déplacements total) des tranches horaires durant une période 180 jours.	105
Figure 46. Profil d'activité nocturne du patient sur le lit.	107
Figure 47. Séquence de présence du patient durant les nuits du 07/05 et du 23/05.	108
Figure 48. Variation du temps de séjour du patient dans la salle de bain sur 21 jours.	109
Figure 49. Algorithme de chute développé.	110
Figure 50. Données collectées en <i>Indoor</i> et <i>Outdoor</i> durant l'apprentissage.	113
Figure 51. Résultats des tests de l'algorithme auto-adaptatif.	114
Figure 52. Exemple de mesure de distance parcourue sur une journée (habituelle et inhabituelle).	116
Figure 53. Distance parcourue sur 36 heures (07/05-08/05).	117

## Table des tableaux

Tableau 1. Synthèse des travaux cités. ....	47
Tableau 2. Format des trames échangées entre la balise et le serveur des données. ....	62
Tableau 3. Quantité de données collectées par tranche horaire. ....	101
Tableau 4. Taux d'alertes d'agitation nocturne sur le lit. ....	108
Tableau 5. Tests en laboratoire de la sensibilité du détecteur de chute. ....	110
Tableau 6. Tests en laboratoire de la spécificité du détecteur de chute. ....	111
Tableau 7. Fiabilité de la détection de chute. ....	111
Tableau 8. Fiabilité de la détection de fugue. ....	112
Tableau 9. Corrélation des déviations comportementales détectées avec les observations du personnel. ....	115
Tableau 10. Evaluation des troubles de conduites (Annexe 3). ....	116
Tableau 11. Surveillance du poids. ....	116



## Introduction générale

L'arrivée à des âges avancés de la génération du « baby-boom » et l'allongement de la durée de vie dû principalement aux progrès de la médecine et des conditions de vie, font croître la part relative de la population âgée en France et de manière plus générale, dans les sociétés modernes. Ce constat a donné lieu à de très nombreuses études démographiques. Au 1<sup>er</sup> janvier 2012, la France comptait environ 65 millions d'habitants dont 17,6% de 65 ans et plus, soit près de 11,5 millions de personnes. Ce chiffre a augmenté de 22,6% en 10 ans (depuis 2002). 23,5 millions de personnes âgées de plus de 60 sont prévus pour 2060 soit une augmentation de 80% en 50 ans [1]. Ce vieillissement global et rapide de la population entraîne une augmentation de la population des personnes âgées, quelquefois dépendantes, ce qui implique une hausse des soins réguliers et permanents. Les coûts de prise en charge deviennent rapidement considérables.

D'importantes réflexions dans le monde de la santé sont menées pour tenter, par la voie de l'innovation technologique et de l'organisation médicale, d'apporter des améliorations aux pratiques existantes. Sur les questions d'organisation et de pratique des soins, l'informatisation des actes médicaux est sûrement une source de progrès : on attend de ces avancées une plus grande réactivité de l'Administration et une plus grande efficacité des Soins cliniques, notamment par le développement d'un dossier médical largement partagé. L'ouverture à la Télémédecine peut aussi constituer une piste de progressions avec des améliorations décisives dans des situations d'isolement ou pour faire face aux difficultés liées aux déserts médicaux en zones rurales.

Notre action s'inscrit davantage dans une tendance qui se dessine avec force et qui tend au rapprochement Hôpital et Domicile. D'un côté, on observe, pour les Hôpitaux, le besoin d'investir sur des méthodes et des machines de plus en plus performantes et de gérer au mieux l'accès pour tous à des moyens modernes de diagnostics et traitements. D'un autre côté, notamment à cause du vieillissement de la population, se développe l'idée d'un « maintien à domicile des patients » le plus longtemps possible. Il y a, dans ces choix, des contraintes financières et des perspectives à explorer afin de réduire les coûts. Il y a aussi la volonté d'apporter aux patients du bien-être dans la mesure où ils restent dans un environnement qui leur est familier, entourés de leurs familles et amis. Mais, pour réussir une telle évolution, il faut assurer au patient et à son entourage au domicile, les mêmes qualités et sécurités de soins. Pour ce faire, nous proposons, avec d'autres de renforcer les équipements de surveillance à



domicile soit en instrumentant les bâtiments (habitat intelligent), soit en instrumentant le patient (dispositifs portables) et en assurant le renseignement des équipes médicales et autres organisations concernées par la surveillance du patient.

Dans ce cadre, notre travail a pour objectif de concevoir et d'expérimenter des solutions de « surveillances automatiques des patients dans leur environnement de vie et en particulier à domicile ». Cela suppose d'analyser les besoins de la surveillance à domicile, de définir les fonctions les plus utiles et de proposer des solutions technologiques afin :

- d'apporter aux patients un niveau de sécurité assurant une intervention rapide en cas de danger,
- de permettre aux patients de vivre le plus longtemps possible chez eux, dans un environnement familial,
- d'aider les professionnels de santé à maintenir la qualité des soins au meilleur niveau.

On espère ainsi contribuer à retarder l'entrée en institution mais également à réduire les dépenses globales d'hospitalisation et de gestion de santé des personnes âgées dépendantes.

Les défis à relever, dans le maintien à domicile, sont nombreux, compte tenu de la diversité des affections, notamment des maladies chroniques, pouvant atteindre les personnes âgées. Nous considérons ici principalement deux catégories de patients : les personnes dites « fragiles » et les personnes atteintes de maladie liée au vieillissement (Alzheimer). Les personnes « fragiles » sont caractérisées comme des personnes valides et robustes mais qui présentent des risques de basculement dans la dépendance suite à une maladie ou à un stress. Cette notion assez récente est très intéressante car elle désigne une population à risque sur laquelle on peut intervenir médicalement, de manière efficace (prévention). La détection est clinique ; elle peut s'appuyer sur les critères de *Fried* [2] : la mesure des vitesses de déplacement, et plus généralement l'évaluation de leur mobilité, sont des moyens d'accéder à une appréciation longitudinale de l'état de santé. Sur le plan technique, l'avantage de cette population est qu'elle peut participer activement au suivi des mesures et traitements prescrits. Nous considérons aussi le cas des personnes dépendantes, pour certaines pouvant être atteintes de la maladie d'Alzheimer. Nous voulons alors détecter des situations de danger telles que la chute, la fugue, l'errance et la déambulation.

Pour ces deux populations, nous pensons que, des solutions basées sur des techniques d'analyses de déplacements et de géolocalisations précises peuvent permettre de caractériser précisément le patient dans son comportement quotidien « normal », de détecter mais aussi d'anticiper des « situations anormales » potentiellement critiques et donc d'assurer la sécurité, que ce soit des personnes autonomes présentant une fragilité ou des personnes en perte d'autonomie.

Des projets antérieurs à ce travail ont été conduits au laboratoire *LAAS-CNRS*, depuis plusieurs années, travaux qui s'inscrivent dans une approche globale bien définie. Les résultats déjà obtenus ont permis d'orienter progressivement ces travaux vers des expérimentations avancées proches de l'utilisation en site réel [3]. Nos contributions s'intègrent dans les programmes de *Recherche-Développement* de deux grands projets : *BéA* (Géolocalisation) et *Homecare* (surveillance) qui ont été conduits en étroite collaboration avec deux institutions, notamment l'hôpital de Caussade et l'*EHPAD* d'*Auch*. Pour choisir les fonctions de surveillance, nous avons essayé de répondre efficacement aux attentes des usagers, des équipes médicales et de leur entourage, avec une volonté de proposer des solutions les moins intrusives possibles.

Dans *Homecare*, notre objectif était de concevoir et de mettre en œuvre, en situation réelle, un système complet de surveillance des personnes « fragiles » et des personnes présentant des risques potentiels : dans ce cas, la population des malades Alzheimer est la cible visée. Cette surveillance est conceptuellement basée sur la modélisation en ligne du comportement des patients par des méthodes multi-sensorielles et des techniques d'apprentissage ainsi que sur des opérations de suivis comparatifs permettant de définir des alarmes. Nous nous intéressons principalement à la mesure de la mobilité des personnes dépendantes en institutions, dans leurs habitations ou à proximité de l'habitation. Plusieurs autres travaux de recherche rapportés dans la littérature spécialisée [4][5] ont été menés ces dernières années. Ces études visent à surveiller le patient « en institution ». Elles visent à proposer des solutions les moins intrusives possibles [6] en déployant des réseaux de capteurs multi-sensoriels, de type Capteur Infrarouge [7], Accéléromètre [8], Microphone [9] dans l'environnement de la personne. Le but est de détecter ses activités quotidiennes et d'aboutir à une modélisation de ses habitudes de vie. Les données sont collectées généralement sur un serveur central de décision qui permet non seulement d'analyser les données de mouvements et les données physiologiques mais aussi de fournir un diagnostic de situation dangereuse, en temps réel.

Le laboratoire *LAAS* a initié des travaux sur les systèmes de surveillance des personnes âgées en collaboration avec *EDF R&D* dans le cadre du projet *PROSAFE* [6][10] durant les années 90. Ces travaux portaient sur des systèmes de surveillance basés sur l'étude de déviations du comportement par rapport aux habitudes normales. L'expérimentation fut d'abord conduite sur la période nocturne pour une personne seule, dans sa chambre, en maison d'accueil, en déployant un réseau de capteurs infrarouges afin de recueillir des données spatio-temporelles. L'originalité de l'approche était de ne pas instrumenter le patient mais seulement la structure (chambre de vie). L'expérimentation a ensuite été élargie à la surveillance à domicile (un appartement à *Orléans*), avec une configuration matérielle plus adaptée aux appartements/logements (capteurs infrarouges sans fil, société d'intervention distante) [11][12]. Une autre plateforme de surveillance multi-sensorielle a été installée à la maison de retraite de *Tibiran-Jaunac (Hautes-Pyrénées)* en 2003, dans le cadre du projet *OURSES* [13] où une communication satellite a été établie pour permettre au personnel soignant de superviser la situation à distance. Ces expériences montrent que ce type de surveillance fonctionne bien dans la mesure où la personne est seule à son domicile. Dès qu'il y a plusieurs personnes, la détection est brouillée, faute d'identification du patient dans son environnement.

Dans le cadre de cette thèse, nous avons travaillé sur deux projets *Homecare* [14][15] et *BéA* [15]. Ce sont deux projets qui s'intéressent à la surveillance et au maintien à domicile des personnes âgées dans un environnement élargi par rapport aux travaux passés :

- Le projet *Homecare* vise à expérimenter et à qualifier, au niveau opérationnel, un système complet de Télésurveillance pour les personnes âgées (ou handicapées) atteintes de la maladie d'*Alzheimer*. Une plateforme de surveillance a été déployée en institution « hôpital local de Caussade » basée sur la collecte des données de localisation issues d'un réseau de capteurs hybride. Elle inclut la présence simultanée de plusieurs personnes et élargit le domaine d'investigation à un ensemble de chambres, avec un jardin extérieur. Les algorithmes embarqués sur ce système doivent permettre de faire le suivi des paramètres actimétriques (temps de présence, immobilité prolongée, activité nocturne, vitesse de déplacement, distance parcourue) qui devront permettre à la fois aux aides-soignantes de recevoir les alertes (chute, agitation nocturne, comportement suspect...) et aux médecins de les corrélérer avec d'autres observations afin d'extraire un modèle de comportement. *Homecare* souhaite donc évaluer une première réponse globale à la problématique de l'autonomie des personnes et du maintien en institution et à domicile.

- Le projet *BéA* (Bracelet Electronique d'Autonomie) est surtout orienté sur la surveillance « *outdoor* » et complète donc l'approche précédente. L'ambition technique consiste à développer un bracelet de téléassistance afin d'anticiper et détecter les situations critiques, potentiellement catastrophiques que peuvent subir les personnes âgées dépendantes dans leurs déplacements extérieurs : chutes, errances, fugues... Ce bracelet est constitué d'une puce GPS, GSM et de divers capteurs permettant de détecter des comportements anormaux et émettre des alarmes à un centre d'assistance médicalisé opérationnel 24h/24. En fonction des protocoles opérationnels définis, les aidants (famille, service d'aide à domicile, voisins), ou les services professionnels de gestion d'urgence (SAMU, Pompiers, Police) peuvent être avertis afin de traiter au plus tôt la situation de danger. Notre contribution réside dans la mise en place d'une architecture système déployée sur un serveur central, et qui intègre un algorithme optimisé auto-adaptatif de détection des cas de déambulation par tranche horaire. Cette modélisation est basée sur les données de déplacements issues d'un réseau sans fil de type Wi-Fi « *indoor* ». De même, en environnement urbain, à l'aide du GPS « *outdoor* », le système doit permettre d'associer, d'une façon automatique, pour chaque tranche horaire, les périmètres géographiques de sécurité (zones de *Geofencing*) afin de détecter les situations d'errances ou de fugues.

Le manuscrit est organisé en quatre chapitres :

Dans le chapitre 1, nous positionnons le problème du maintien des personnes âgées en faisant à travers une étude bibliographique, un état des connaissances et des pratiques sur les systèmes d'analyse des activités chez les seniors. On présentera également les travaux et les différents projets qui ont été menés au LAAS dans le cadre de cette thématique. A la fin de cette étude, nous présentons les objectifs de notre travail :

- la mise en situation réelle du système de surveillance,
- l'identification de la personne suivie,
- une extension vers l'extérieur,
- l'approche pour la validation technique et clinique sous forme de retour d'expérimentation de la part du personnel médical.

Dans le chapitre 2, nous présentons l'étape de conception du système de surveillance *Homecare*. Nous décrivons selon une description fonctionnelle l'architecture matérielle et logicielle mise en œuvre et qui répond aux spécifications établies (mise en œuvre technologique). À la fin de ce chapitre, nous présentons l'approche suivie pour la détection de la déviation comportementale. Cette détection est basée sur l'analyse de présence et de

déplacement de la personne dans le milieu surveillé et permet au personnel soignant, de disposer à la fois d'une aide pour la détection d'une urgence (déambulation, malaise..), mais également pour la prise de décisions thérapeutiques.

Dans le chapitre 3, nous décrivons les développements effectués dans le cadre du projet *BéA*. Ils consistent essentiellement à mettre en œuvre une architecture système embarqué sur un serveur central. Cette architecture qui permet la sauvegarde et la gestion des données de géolocalisation par tranche horaire, est conçue autour d'un algorithme auto-adaptatif d'identification des trajets routiniers en environnement intérieur et extérieur dans l'objectif de détecter, par la suite, des cas d'errance et de fugue chez les personnes fragiles vivant à domicile. Cet algorithme est basé sur une méthode de classification non paramétrique qui permet de définir les centres des nuages de points de localisation.

Dans le chapitre 4, nous décrivons l'installation de *Homecare* et les outils mis en place ainsi que le déroulement des expérimentations dans un site protégé de l'Hôpital Local de Caussade « Unité Alzheimer », pendant quelques mois. Nous présentons également en détail les résultats du suivi effectué ainsi que le rapport des performances. Nous détaillons, aussi, les tests menés en laboratoire afin de valider le concept du système *BéA* et en particulier la détection des cas d'errance. Par la suite, et dans le but de répondre aux objectifs de notre travail, nous analysons le système *Homecare* à travers une évaluation clinique « thérapeutique » et éthique auprès des usagers : patients, famille, aides-soignants et médecins, et une évaluation globale de la solution déployée en soulignant les insuffisances et les limites du système *Homecare* pour lesquelles nous proposons des perspectives d'améliorations. Une dernière partie propose un possible modèle économique qui définit les options offertes, aujourd'hui, au déploiement de ce type de système.

Enfin, la conclusion générale récapitule les résultats essentiels obtenus au cours de notre travail et présente les perspectives qui en découlent.

## **Chapitre 1**

### **Les systèmes de télésurveillance et de détection de situations critiques chez les personnes âgées : problématique et état de l'art**



## 1. Introduction

Ce chapitre présente une synthèse des travaux qui proposent des solutions pour répondre aux problématiques engendrées par le vieillissement de la population, en considérant essentiellement ceux qui s'associent à une approche technique du problème, c'est-à-dire la surveillance automatique des personnes. Nous décrivons les besoins de nos sociétés industrialisées et les premières propositions de la littérature. Le LAAS a une expérience assez longue de ces questions : nous en reprenons l'essentiel et proposons de travailler dans la continuité sur un système complet assurant l'identification et la localisation du patient à l'intérieur (chambre et appartement) et à l'extérieur (hors domicile ou hors unité de soins).

## 2. Problématique liée au vieillissement de la population

### 2.1. Quelques chiffres

Le vieillissement de la population dans le monde est un phénomène inédit dans l'histoire de l'humanité et pratiquement irréversible [16]. D'après une étude du département des affaires économiques et sociales de l'ONU [17], le nombre de personnes âgées (60 ans et plus) devrait atteindre 21% de la population mondiale d'ici 2050. Avec une croissance moyenne de 2,4% par an, leur nombre devrait dépasser celui des jeunes. C'est déjà le cas de certains pays développés comme le Japon depuis 1998. Ce phénomène de vieillissement résulte d'un mouvement démographique lié aux progrès médicaux et socioculturels qui se traduit par une augmentation de la durée de vie (46 à 66 ans durant ce dernier siècle [18]). La proportion de la population âgée vivant en Europe est de 16% [1] de la population totale européenne. L'Europe occupe la première position devant l'Asie (6,7% de l'effectif total). En 2010, les personnes âgées constituaient 17,4 % de la population de l'Union Européenne dont la moyenne d'âge était de 41 ans [19]. Le taux de personnes âgées devrait continuer d'augmenter de façon significative au cours des prochaines décennies avec l'arrivée à un âge avancé de la génération « *baby-boom* ». L'Allemagne est le pays qui a le taux de séniors le plus élevé et l'Irlande possède le taux le plus faible en Europe. La France fait partie des pays européens qui continuent de vieillir. La moyenne d'âge est actuellement de 42 ans (Figure 1), et elle devrait passer à 43,6 ans d'ici 2040, selon les derniers chiffres de l'Insee. 23% de la population est âgée de plus de 60 ans et ce taux va continuer à croître jusqu'en 2035. Au-delà de cette date, la croissance de la population devrait augmenter à un rythme plus modéré et



sera plus sensible aux effets de la mortalité [20]. La durée de vie devrait alors atteindre 91 ans pour les femmes et 86 ans pour les hommes d'ici 2060.

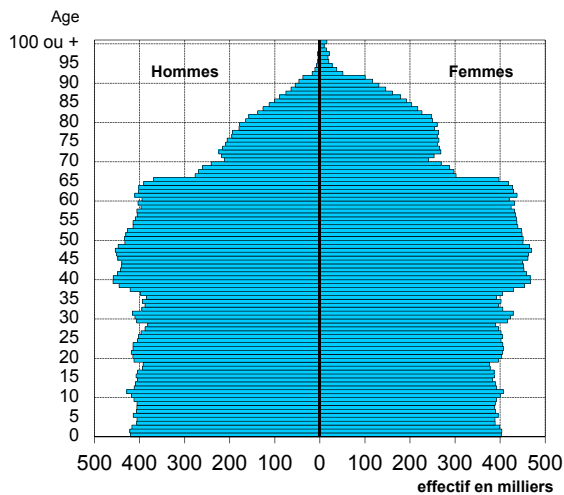
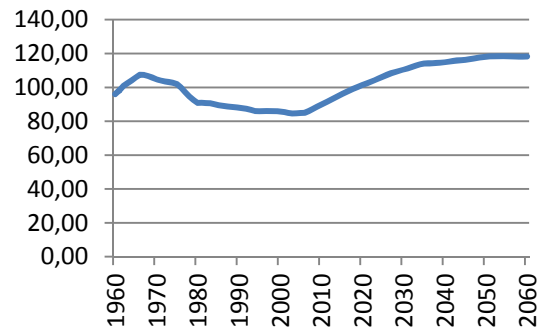


Figure 1. Pyramide des âges au 1er janvier 2012 [1].



Lecture : il y a, en 2007, 86 personnes d'âge « inactif », (c'est-à-dire de moins de 20 ans ou de plus de 60 ans) pour 100 personnes d'âge « actif » (de 20 à 59 ans). Selon le scénario central de la projection, ce ratio atteindrait 118 en 2060.

Figure 2. Évolution du ratio de dépendance économique [1].

## 2.2. La dépendance

La dépendance est définie comme l'incapacité totale ou partielle d'une personne âgée à accomplir certains actes essentiels de la vie quotidienne, sans l'aide d'une tierce personne. Cette définition est basée sur les critères institutionnels et scientifiques cités ci-dessous [21][22] :

- Critères de dégradation des fonctions physiques (ex : marcher), sensorielles (ex : voir), ou cognitives (ex : s'orienter). La dépendance est fonction non seulement de l'état de santé de la personne mais aussi de son environnement matériel.
- Critères de limitation d'activités, qui doivent être évalués par rapport à la capacité de la personne à effectuer ses activités de la vie quotidienne (*AVQ* ou *ADL* en anglais pour *Activity of Daily Living*).
- Critères de besoin d'aide ou d'assistance.

Il y a donc plusieurs grilles règlementaires qui sont utilisées pour mesurer la dépendance des personnes âgées. Parmi celles-ci, on trouve la grille française *AGGIR* (Autonomie Gérontologique Groupes Iso-Ressources), qui évalue la capacité de la personne âgée à effectuer seule, 10 activités essentielles dites discriminantes (se lever, s'habiller, se déplacer, etc). Parmi ces critères discriminants, notons deux activités à caractère cognitif : la cohérence et le « savoir se situer » dans le temps. A partir de cette évaluation, les individus sont classés en 6 groupes *GIR* « Groupes Iso-Ressources », de *GIR 1* à *GIR 6* [22] :

- *GIR 1* et *GIR 2* correspondent aux personnes totalement dépendantes qui ont perdu leur autonomie mentale, corporelle, locomotrice et sociale : Elles nécessitent une assistance permanente pour accomplir leurs activités du quotidien,
- *GIR 3* et *GIR 4* correspondent à la dépendance moyenne,
- *GIR 5* et *GIR 6* correspondent à la non dépendance.

L'allocation personnalisée d'autonomie (*APA*), créée en 2002, est destinée aux personnes âgées de 60 ans et plus, résidant à domicile ou en établissement spécialisé et confrontées à des situations de perte d'autonomie. Elle permet la prise en charge d'aides et de services diversifiés. Les quatre premiers Groupes Iso-Ressources (*GIR 1* à *GIR 4*) donnent droit à l'*APA* [23]. 61% des bénéficiaires de l'*APA* vivent à domicile.

A la fin du trimestre 2011, la France comptait 1 203 000 personnes âgées dépendantes (*GIR 1-4*) dont 733 000 à domicile. Leur nombre devrait doubler d'ici 2060. Toutefois, cette croissance, qui est liée à l'augmentation de la population de plus de 80 ans, aura tendance à diminuer au-delà de 2045, avec la disparition en proportion importante des premières générations du « *baby-boom* [24] ». Dans un tel contexte, en tenant compte des dépenses sociales liées à leur prise en charge, les personnes âgées dépendantes vont peser lourdement sur les personnes en âge de travailler (15-64) provoquant des incidences prévisibles sur la croissance économique, l'épargne, l'investissement, la consommation, le marché du travail et le financement des retraites (Figure 2). En 2010, les dépenses liées à la dépendance étaient estimées à 34 milliards d'euro [25]. Pour l'avenir, le défi est de maintenir les personnes âgées à domicile. Ce maintien devrait permettre non seulement un meilleur accompagnement (environnement habituel) mais aussi une diminution des coûts de prise en charge en établissements spécialisés et ainsi des conditions de travail améliorées pour les personnels soignants. Des politiques nouvelles doivent donc être définies et mises en œuvre pour permettre ces évolutions des systèmes de santé, notamment en intervenant en amont de la dépendance. Ces politiques sont [25] :

- Développer la prévention de la perte d'autonomie tout au long de la vie en visant un vieillissement « en bonne santé » de la population,
- Adapter l'habitat et le cadre de vie aux évolutions démographiques,
- Soutenir les innovations technologiques au service de l'autonomie.

### 2.3. La fragilité

La fragilité chez les personnes âgées est un concept émergent développé aux Etats-Unis [2] et repris en France par le Gérontopôle du CHU de Toulouse. Elle est définie comme un état de vulnérabilité consécutif à une diminution des réserves fonctionnelles des multiples systèmes physiologiques composant l'organisme [26]. *Fried* et al considèrent la fragilité comme un syndrome clinique caractérisée par :

- La perte de poids involontaire,
- La baisse de la dépense calorifique hebdomadaire (kcal/semaine),
- L'affaiblissement physique (force de préhension),
- La baisse de la vitesse de marche,
- La baisse d'activité physique.

A partir de ces critères, on peut identifier trois états de la personne [2] : robuste (pas de critère), pré-fragile (1 ou 2 critères) et fragile (3 critères ou plus). La plupart des gérontologues considèrent que la fragilité est un état précoce de la dépendance ou de la perte d'autonomie [2][27][28][29]. Cependant aujourd'hui, il n'existe pas de définition institutionnelle de ce syndrome [30].

Dans ce cadre, le travail décrit dans ce manuscrit vise à proposer un outil de surveillance et de détection de situations critiques, il cible à la fois :

- Les personnes âgées dites « fragiles » vivant à leur domicile « *GIR 4-GIR 5* » et qui présentent des risques de chute et d'hospitalisation : le but est alors de faciliter leur maintien à domicile « en bonne santé »,
- Les personnes déjà à un stade avancé de dépendance « *GIR 1-GIR 3* » ou déjà atteintes par une maladie du vieillissement (*Alzheimer*) et résidant en institution : l'objectif est alors de les surveiller afin de réduire les risques d'accidents.

### 3. Exigences techniques et éthiques des systèmes de télésurveillance

L'avancée des technologies des télécommunications et de l'électronique a ouvert des perspectives intéressantes dans l'utilisation de la télésurveillance pour la sécurisation des personnes âgées. Elles peuvent résoudre des situations de danger et d'appels d'urgence et potentiellement réduire les coûts des soins en évitant des cas d'hospitalisation non nécessaires. Elles devraient également permettre d'anticiper la survenue de défaillances grâce au suivi longitudinal dans le cadre d'un accompagnement médical.

Un tel système de télésurveillance exige d'être conçu comme un service médical de haute qualité. Il doit fournir un service sûr et efficace basé sur des connaissances scientifiques centrées sur les besoins du patient et le respect de l'éthique. Il doit également fournir un service rapide et indépendant de l'environnement du patient. Ces exigences ont pour but d'améliorer les systèmes de soins tels que proposés par l'Institut de Médecine de Washington [31][32].

L'intégration de plusieurs technologies de capteurs couplés avec des moyens de télécommunications a permis de concevoir, ces dernières années, des systèmes de télésurveillance moins chers et moins intrusifs pour diverses applications. *Korhonen et al* [33] proposent une classification des systèmes de télésurveillance en deux catégories :

- **Les systèmes de gestion du bien-être et de la maladie « *Wellness and disease management* »** : dans cette catégorie, le sujet en question participe activement au processus de gestion du système tandis que le personnel médical joue un rôle de suivi a posteriori (ex : le système de gestion du diabète où les mesures du glucose sont faites par le malade lui-même et appliquées dans la poursuite du traitement).
- **Les systèmes de surveillance à distance « *Independent living and remote monitoring* »** : dans ce type de système, le sujet n'est pas capable d'interpréter les données mesurées ; c'est alors le rôle du personnel médical de surveiller et réagir en fonction des interprétations de ces données (ex : le système de détection de chutes des personnes vivant seules à leur domicile).

Cependant, les systèmes de télésurveillance doivent répondre à certaines exigences pour être acceptés par l'ensemble des acteurs concernés :

- **Respect de la vie privée** : Les systèmes de télésurveillance doivent respecter la vie privée des personnes surveillées, en d'autres termes être « non intrusifs ». D'après une étude menée par la faculté des sciences de la santé de l'Université de Sydney auprès de personnes âgées vivant seules [34], la majorité d'entre elles accepte de divulguer des informations médicales mais refuse d'être surveillées par des dispositifs trop intrusifs de type caméra.
- **Tolérance et acceptabilité** : Dans le cas des dispositifs portables (PDA, tag RF, détecteur de chute...), ces derniers doivent respecter certaines conditions d'acceptabilité et de confort. Les questions qui se posent dans le cas d'utilisation de ce type de systèmes sont : Est-ce que le sujet accepte de porter le dispositif ? Si oui, pendant combien de temps est-il capable de le supporter ? *Laila et al* [35] ont montré

que 38% des 12 participants de l'étude refusent de porter un dispositif de localisation et de détection des cas d'errance ; 43% d'entre eux acceptent de le porter si on change la position du dispositif.

- **Efficacité** : Un système de télésurveillance peut être considéré comme efficace si le taux de fausses alertes générées par le système est très faible.
- **Autonomie énergétique des dispositifs portables** : Parmi les difficultés rencontrées sur ce type de système, l'autonomie énergétique joue un rôle important. Le remplacement de la batterie par les personnes âgées/patients eux-mêmes ou leurs famille/aides-soignantes peut être compliqué et coûteux.
- **Facilité d'utilisation** : Les systèmes de surveillance doivent être simples et ergonomiques ; c'est un point clé de leur succès.
- **Faible coût de déploiement** : Le matériel utilisé doit être indépendant de l'environnement de vie de l'utilisateur, cela nécessite la plupart du temps l'emploi de la technologie sans fil afin de rendre l'installation du système rapide et moins coûteuse.

Il existe d'autres exigences comme la sécurisation des données, la mise en haute disponibilité des machines de traitement, etc. qui doivent être assurées lors d'un déploiement sur site réel.

## 4. Etat des connaissances et des pratiques

### 4.1. Les systèmes de télésurveillance de la mobilité

La mobilité est définie comme une caractéristique des activités physiques de la personne en interaction avec son environnement. Elle est considérée comme un indicateur discriminant de l'état de santé fonctionnel et physiologique de la personne [36] ; une personne à faible mobilité est exposée aux risques de chute [37]. La surveillance de la mobilité inclut par exemple la mesure du temps passé sur une activité physique donnée ou la mesure du nombre de lever/coucher pendant la nuit...

Les systèmes de télésurveillance de la mobilité sont basés sur le déploiement d'un réseau de capteurs dans l'environnement de la personne. Cela permet de récupérer en permanence des données de localisation et des données actimétriques. Les données sont ensuite acheminées vers un serveur central qui s'occupe de les stocker et de les traiter afin de générer des alertes.

La Figure 3 montre un exemple type de système de télésurveillance des activités physiques. Elle résume les différentes technologies de capteurs utilisées :

- **Capteurs environnementaux** : Ces capteurs sont installés dans l'environnement de l'habitat de la personne « infrarouge, caméra, détecteur de passage, capteur de pression, contacts électromagnétiques, *RFID*, balise *ZigBee/Wi-Fi*... ». Toutefois, ce type de capteur ne permet pas la surveillance en extérieur (*outdoor*), comme ils ne permettent pas d'identifier le sujet.
- **Dispositifs portables** : Ce type de dispositif est embarqué sur la personne (téléphone, *PDA*, bracelet, montre, médaillon, pendentif, patch, chaussure, ceinture...). Ils permettent l'identification de la personne même en extérieur (quand ils intègrent une puce *GPS*). Cependant, ces dispositifs posent un problème de portabilité chez la personne âgée, étant donné qu'ils nécessitent d'être embarqués sur le sujet afin de le localiser et d'identifier ses activités.

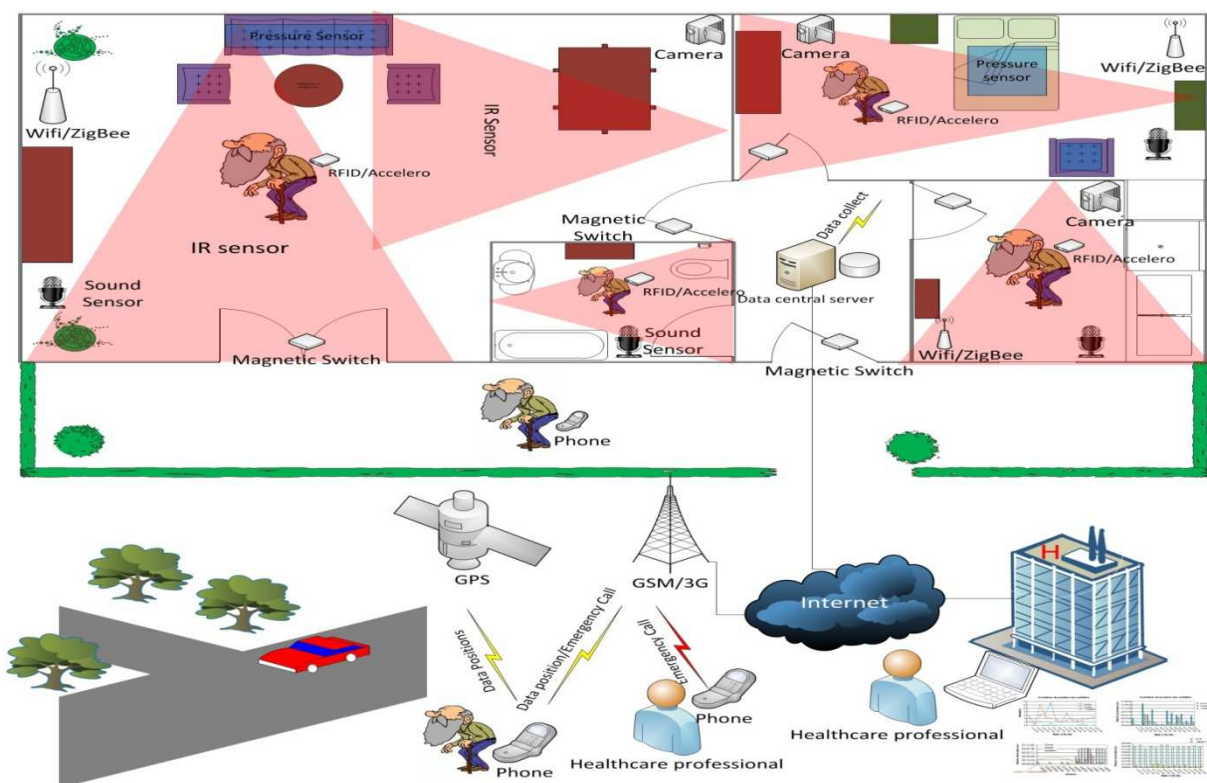


Figure 3. Vue globale sur les systèmes de télésurveillance des personnes âgées.

Plusieurs travaux de recherche ont été réalisés durant ces dernières années. Ces travaux étaient au carrefour entre l'électronique, l'informatique, les réseaux de télécommunication et le médical. Leurs objectifs étaient de proposer des systèmes de télésurveillance de mobilité

des personnes âgées soit à domicile, soit en institution. D'après [38][39], on distingue 3 générations de systèmes de télésurveillance :

- **Première génération** : elle rassemble les systèmes d'envoi manuel des alertes déjà en usage. Bien que techniquement simples, ces systèmes se révèlent être fiables et bien acceptés par les utilisateurs. Ils ont toutefois une limitation majeure : la volonté ou la disponibilité du patient pour lancer un appel d'urgence. Ce type de système ne possède en effet aucune intelligence embarquée et dépend uniquement de l'utilisateur pour activer l'appel à l'aide.
- **Deuxième génération** : Ces systèmes peuvent avoir toutes les caractéristiques de la première génération, mais ils disposent d'un certain niveau d'intelligence locale, dans la maison ou répartie dans le système lui-même. Par exemple, les capteurs qui sont embarqués sur la personne ou déployés au domicile peuvent détecter des situations critiques donc déclencher automatiquement un appel à l'aide si nécessaire, si l'utilisateur n'est pas en mesure de le faire.
- **Troisième génération** : les systèmes de troisième génération font actuellement l'objet d'études nouvelles. Ce type de systèmes englobe toutes les fonctionnalités sécuritaires de la deuxième génération, mais fournit également d'autres télé-services généraux qui pourront améliorer la qualité de vie des utilisateurs comme par exemple lancer des achats ou des opérations bancaires.

Le travail détaillé dans ce manuscrit appartient surtout à la deuxième génération. Il nous amène à distinguer deux étapes de télésurveillance : *indoor* et *outdoor*.

## 4.2. Système de télésurveillance de la mobilité en « indoor »

### 4.2.1. Systèmes basés sur des capteurs environnementaux

Les premiers systèmes de surveillance des activités des personnes âgées/handicapées ont été développés par *Clark* [40] en 1979. Sa proposition, *EMMA (Environmental Monitor/Movement Alarm system)*, était basée sur la localisation de la personne en *indoor* en utilisant des capteurs passifs de pression enfouis sous les tapis ainsi que des détecteurs de vibration placés dans le lit. Cela permettait de déclencher des alertes, l'utilisateur devant remettre à zéro un dispositif d'horloge. *McLuckie* [41] a proposé en 1984 un système installé dans les appartements/logements des personnes âgées qui, à l'aide d'une solution électronique, permettait non seulement de communiquer avec le gardien de la résidence, mais



aussi de lui envoyer des alertes. Le système utilisait des capteurs infrarouges et des détecteurs de pression déployés dans l'appartement, en respectant la vie privée des habitants.

En 1994, *Celler et al* [36] ont proposé un système de télésurveillance multi-sensorielle pour détecter les changements d'états de santé fonctionnels de la personne en s'appuyant sur les paramètres suivants :

- La mesure de la température,
- La mesure du courant électrique,
- La détection du mouvement (détecteur infrarouge ou ultrason),
- La détection de passage (interrupteur magnétique ou mécanique),
- La mesure du signal sonore (microphone).

Les détecteurs de passage permettent de définir la présence ou non de la personne dans une pièce donnée. Grâce aux capteurs infrarouges, le système peut la localiser avec précision. En couplant cette localisation avec l'analyse du signal sonore mesuré par les microphones et la consommation électrique des appareils électroménagers utilisés par la personne, il est alors possible d'identifier son activité. Les données collectées sont ensuite transmises vers un centre superviseur via le réseau téléphonique. Ainsi, les paramètres discriminants du changement de l'état physiologique sont identifiés, comme l'utilisation de la salle de bain, le comportement pendant le sommeil ou la préparation des repas. Durant une expérimentation de 5 mois sur quatre personnes, le système a permis de prouver la faisabilité technique et l'utilité de ce concept pour améliorer les soins et le maintien à domicile des personnes âgées [42].

Le projet de télésurveillance de *Anchor Trust et British Telecom* [39] « *Anchor Trust/BT Telecare Project* » a été réalisé au Royaume-Uni dans le but de développer et mettre en œuvre des technologies non intrusives afin de répondre à la question de la fiabilité dans le maintien des personnes âgées et l'envoi d'alertes. Ce projet a notamment permis de tester et d'évaluer les avantages et inconvénients de ces technologies. Le système de télésurveillance utilise pour détecter les déviations du comportement, des capteurs de mouvement *PIR* (capteurs infrarouges passifs), et des détecteurs magnétiques de proximité placés sur la porte du réfrigérateur et la porte d'entrée afin de mesurer l'activité à domicile (Figure 4).

Ce système est également doté d'un capteur de température ambiante qui est placé dans le salon dans le but d'anticiper les cas d'hypothermie. Les capteurs sont connectés via une liaison radio à une boîte de contrôle. Cela a permis de réduire considérablement les coûts du câblage.



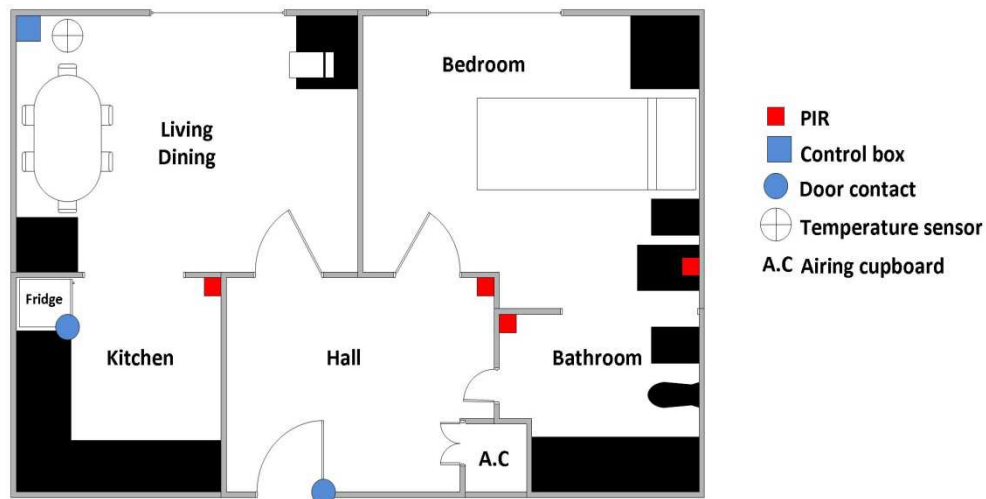


Figure 4. Plan d'installation du système de télésurveillance Anchor Trust/BT Telecare Project (schéma adapté de [39]).

Des essais du système ont été effectués sur 22 personnes âgées de 60 à 85 ans, sur une durée de 3 mois [43]. Durant cette période, le système a généré 61 alertes avec une fréquence d'une alerte par mois et par personne. 46 d'entre elles sont classées comme fausses alertes. L'utilisation des capteurs *PIR* a mis en évidence des inconvénients techniques liés au nombre de fausses détections dans le cas des zones de recouvrement (détection simultanée de plusieurs capteurs). Une évaluation des performances effectuée auprès des utilisateurs a révélé que ce système est généralement bien accepté [43].

*Cameron* et al [44] ont proposé un système de télésurveillance de mobilité basé sur un algorithme de prédiction des risques de chutes. Selon des études statistiques, le risque de chute est généralement lié à des facteurs spécifiques à l'individu : âge, sexe, mobilité, activités de la vie quotidienne, historique des incidents de chute, mauvaise vision, prise de médicaments, démence et maladies cognitives. Chaque facteur correspond à un rapport des chances (*Odds ratio*) calculé à l'aide de la méthode de régression logistique. L'algorithme a donc pour rôle de prédire les risques de chutes à partir de ce rapport des chances. Ce système utilise un réseau de capteurs composé de détecteurs de mouvements *PIR*, ainsi que des détecteurs de passage ultrasons placés au niveau des portes afin de mesurer la vitesse de marche du sujet. Dans des travaux ultérieurs, *Doughty* et *Cameron* ont remplacé ces détecteurs par un dispositif embarqué [45].

Le projet *HIS2* « Habitat Intelligent pour la Santé » [46][7] propose le concept d'intégration d'un système de télésurveillance d'activités basé sur un réseau de capteurs non intrusifs (détecteurs infrarouges et de contact). Un dispositif électronique « *SmartCAN* », connecté aux

capteurs, permet d'assurer un minimum d'intelligence de traitement et de filtrage des données à base de règles déjà établies [46]. Ce dispositif sert également d'interface entre les capteurs et le bus *CAN*. Le cycle d'activité de la personne est considéré comme un automate fini dont les états stables correspondent aux pièces et les transitions correspondent aux détections. Le fonctionnement de cet automate est conditionné par la présence de la personne. Si le cycle d'activité détecté est anormal, *SmartCAN* calcule et envoie un facteur de confiance compris entre 0 et 1 permettant ensuite de générer des alertes, si nécessaire [7]. Le traitement des données collectées permet d'établir le profil de la personne, caractérisé par l'agitation, la mobilité, la densité d'occupation des chambres ou encore la fréquence de déplacement.

*Biswas* et al [47][48] ont proposé le prototype d'un système de surveillance d'agitation chez les personnes atteintes de démence (malades d'Alzheimer) à l'hôpital. L'objectif était de démontrer qu'il est possible de détecter certaines pathologies cliniques à l'aide d'un réseau de capteurs environnementaux à faible coût, tels que des capteurs acoustiques, de pression ou ultrason, ces derniers jouant le rôle de détecteurs de mouvement. En mesurant l'intensité et la durée du mouvement par rapport à l'ensemble des mouvements corporels, le système arrive dans un premier temps à distinguer 59% des cas d'agitation à l'aide uniquement des capteurs ultrasons, puis dans un second temps, 73% en tenant compte des détecteurs de pression. Ce taux peut atteindre, par la fusion de tous les capteurs, 94% d'efficacité.

*Suzuki* et al [49] ont également développé un système de surveillance de personnes âgées vivant à domicile. Les données de mouvement sont collectées à une fréquence de 1 MHz à travers des capteurs infrarouges déployés dans la maison du sujet. Ces données sont synchronisées une fois par jour vers un serveur distant via Internet. Une personne a participé aux expérimentations sur une durée de douze jours. Les données collectées durant cette période ont servi comme base d'apprentissage avec des informations fournies par le sujet lui-même sur ses activités quotidiennes. Ceci a permis d'identifier son rythme de vie quotidien (le sommeil : 23:00 - 04:59, se lever/prendre le petit-déjeuner : 05:00 - 08:59, activités intérieures/sortir : 09:00 - 16:59, prendre le dîner/se coucher : 17:00 - 22:59). Le sujet a été suivi sur une période de test de six mois. Durant cette période, le système a détecté 29 jours atypiques (la moyenne des détections des capteurs est en dehors des limites de la moyenne plus ou moins trois fois l'écart-type).

*CareWatch* [50][48] est un système de télésurveillance à domicile conçu par Honeywell Security System pour la surveillance des personnes atteintes de troubles cognitifs de type

Alzheimer. Il vise à surveiller la période nocturne afin d'éviter les sorties sans surveillance de ces personnes, améliorant ainsi les conditions de travail des aidants. Le système se compose d'un tableau de bord connecté aux réseaux de capteurs via un transmetteur sans fil. Les capteurs sont placés dans des endroits dits « stratégiques » : détecteur de présence sous le matelas, détecteurs de mouvement et d'ouverture des portes. Le système est soumis à un protocole de fonctionnement qui active la surveillance dans le cas où la personne est localisée, hors de son lit, via un détecteur de présence. Les aidants sont alertés par une alarme vocale ou des messages d'urgence. Le système a fait l'objet d'une évaluation clinique sur 53 personnes atteintes de démence (Alzheimer) divisées en 2 groupes : groupe des sujets expérimentaux et groupe des sujets témoins. Sur une période de 12 mois, 9 événements de type « blessures et sortie sans surveillance » ont été observés dans le groupe des sujets expérimentaux contre 6 événements dans le groupe témoin. Cependant, selon une analyse basée sur l'utilisation de l'intervention, les sujets expérimentaux sont 85% moins susceptibles de subir un événement que les sujets témoins [51].

*CareMedia* [52][48] est un système de télésurveillance basé sur le traitement d'images vidéo afin de suivre et d'analyser les activités et les comportements au sein des unités de service démence. Le système vise à enregistrer en temps réel, continuellement, les données vidéo/audio à l'aide de caméras et microphones déployés sur site. Ces données sont traitées pour identifier le comportement normatif, aberrant ou à fort impact telle que la chute, l'agression verbale ou physique. L'expérimentation clinique de ce système consistait à installer 3 caméras et des microphones dans les zones collectives d'une unité de démence fermée accueillant huit résidents. Le système a détecté sept événements d'agressions physiques dont trois sans la présence du personnel, et six événements de fugue, sur une durée de 80 heures d'enregistrement.

Cette expérimentation a permis de constater que plus de 75% des événements détectés se produisent pendant les repas. Une autre expérimentation a été menée dans le cadre de ce projet avec 23 caméras installées et accompagnées de micros pour suivre 15 sujets atteints de démence dans un état avancé. Durant 25 jours, le système a permis de collecter 13800 heures d'enregistrement durant lesquelles 185 cas d'agressions physiques ont été détectés pendant 500 heures de repas (déjeuner, dîner). Les données enregistrées sont utilisées pour établir un algorithme d'apprentissage automatique qui permet d'anticiper les événements à risque comme la chute.

*SALVEO* [53] est un système intelligent de suivi et de téléassistance de personnes âgées vivant seules à domicile, commercialisé en France par la société *Pervaya*. Il analyse des données collectées de capteurs environnementaux « mouvement, température, contact de porte » déployés sur site, dans le but de détecter des anomalies en prenant en compte le rythme de vie de la personne « par apprentissage ». Le système est proposé sous un package qui comporte les détecteurs et le boîtier de commande avec un abonnement d'accès à un serveur central par connexion téléphonique. Ce serveur permet d'acheminer les alertes vers la famille ou les aides-soignants. Les événements que ce système peut détecter sont : non réveil, chute, absence de mouvement, températures anormales à l'intérieur de l'habitat, troubles du sommeil, durée d'utilisation de la cuisine et des toilettes, taux de mobilité de la personne, etc. D'autres systèmes de surveillance à un état plus ou moins avancé ont été développés et sont décrits dans les publications suivantes [18][54][48].

#### 4.2.2. Vers l'intégration de dispositifs embarqués

Bien que les systèmes de télésurveillance basés sur les capteurs environnementaux soient mieux acceptés par les usagers, ils comportent néanmoins une limitation quant à leur incapacité à identifier la personne surveillée en présence de personnes externes. Cette problématique constitue un défi majeur dans la conception des systèmes de suivi et de télésurveillance, celle de l'intégration de dispositifs embarqués sur la personne qui permet la localisation et l'identification, voire même la mesure des paramètres vitaux, sans toutefois que ces dispositifs ne provoquent un refus de la part des utilisateurs lié à l'intrusion dans leur vie privée ou à la difficulté de portabilité du dispositif (dispositif lourd, gênant, faible autonomie énergétique...).

Afin que ces dispositifs embarqués puissent remplir leurs fonctions principales, ils doivent comporter 3 parties essentielles :

- **Une partie sensorielle** : elle intègre les capteurs qui permettent la localisation (*GPS*, *Wi-Fi*, *RF*...), la mesure de paramètres biomécaniques (accéléromètre), ou la mesure de paramètres physiologiques (*ECG*, tension artérielle,...).
- **Une partie traitement de données** : les données récupérées sont traitées par une unité de calcul locale (microcontrôleur, microprocesseur) afin de prétraiter, mettre en forme les données ou de déclencher un événement, comme une alerte chute.
- **Une partie transmission des données** : les données doivent être envoyées en permanence vers une unité centrale via un réseau sans fil, *GSM*, *Wi-Fi*, *RF*, *ZigBee*,

*Bluetooth...* pour lever une alerte dans le cas d'un traitement temps réel ou visualiser des suivis longitudinaux. Ainsi, à travers ces données transmises, on peut identifier la personne suivie.

On s'intéresse dans cette section aux systèmes de télésurveillance qui se composent à la fois de capteurs environnementaux et de dispositifs embarqués en se limitant aux dispositifs biomécaniques.

*Vivago Care* est une montre-bracelet (Figure 5) conçue par la société finlandaise « *Vivago Pro* » [55]. C'est un système d'alarme qui permet la mesure du niveau d'activité de son porteur. Equipée d'un capteur de mouvements (accéléromètre), elle peut détecter les micro et macro mouvements des muscles du poignet, du poignet lui-même, du corps, afin d'établir un profil d'activité et de non-activité (période nocturne). Elle envoie automatiquement les informations, via son module radio transmetteur intégré, toutes les 20 secondes à une station de visualisation « PC » qui peut être consultée par le personnel médical ou de suivi. La montre est équipée de deux types d'alertes : automatique et manuelle. Elle peut lever une alerte automatiquement si elle détecte une variation inhabituelle dans le profil d'activité de la personne comme une sortie de la zone de couverture radio.



Figure 5. La montre-bracelet *Vivago* [55].

L'utilisation de la montre a été validée en Finlande sur 83 personnes âgées vivant à domicile ou en résidences assistées [56]. Durant plus de trois mois, la montre a détecté de 1,2 à 3,5 alertes par jour et par utilisateur ; le nombre des alertes manuelles varie entre 0,3 et 1,9 alertes. Du point de vue de l'acceptabilité, la montre a été portée 94% du temps de l'expérimentation. Cela s'explique par deux raisons :

- Les utilisateurs ont été activement sollicités à porter l'appareil à chaque fois qu'ils ne le faisaient pas.

- L'alarme manuelle a été utilisée comme un système d'appel d'infirmières dans les résidences assistées, ce qui a fortement contribué à l'adaptation et à la motivation des usagers quant au port de l'appareil à leur poignet.

*Vigi'Fall* [57][58] est un système de détection de chute automatisé, commercialisé en France par *Vigilio Telemedical*. Ce système est composé d'un dispositif de détection de chute à base d'accéléromètres que la personne doit porter en permanence sur son corps (partie latérale du thorax) sous forme de patch, et de capteurs de mouvements déployés dans l'environnement (Figure 6). Ce réseau de capteurs est connecté à un boîtier local hébergeant le logiciel de gestion. En cas de détection de chute, le dispositif embarqué envoie un signal à ce boîtier. Suite à la confirmation de l'alerte par des détecteurs infrarouges, le système peut lever le doute sur l'évènement. Dans ce cas, le système suit un protocole de déclenchement d'alerte prédéfini :

- Cas du domicile : établir un contact avec un téléopérateur grâce à l'interphone intégré dans le boîtier local. Si la communication est impossible, ou afin de confirmer le caractère critique de l'évènement, les proches, la famille ou les équipes de secours sont immédiatement contactés et une intervention est déclenchée.
- Cas en institution : un message d'alerte est envoyé sur les « beepers » des aides-soignantes spécifiant le numéro de la chambre concernée.

La confirmation d'une alerte de chute est assurée grâce à une fusion de données multicritères en prenant en compte le niveau d'activité et de mouvements avant et après la chute. Il peut aussi prendre en compte quelques paramètres vitaux comme la tachycardie et la fréquence cardiaque afin de renforcer la pertinence de cette alerte.

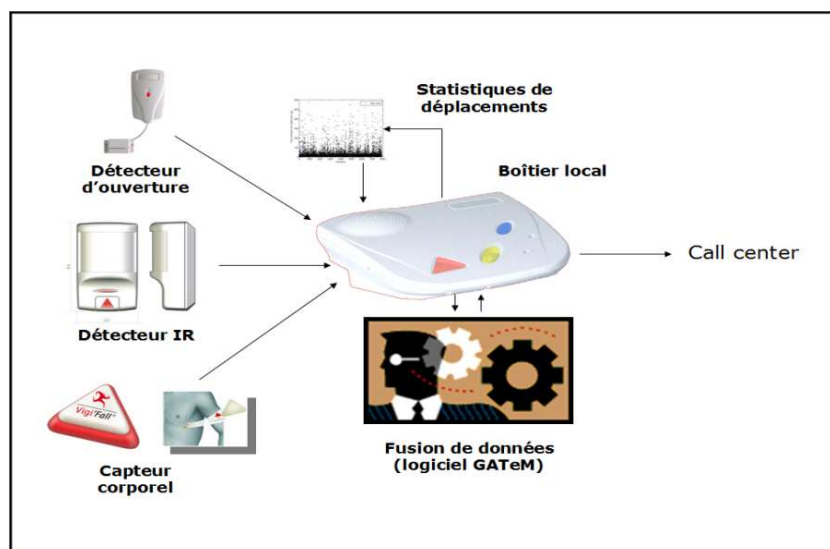


Figure 6. Composants du système *Vigi'Fall* [53].

Ce système a fait l'objet de tests d'évaluation au laboratoire de recherche « *TIMC-IMAG (UJF Grenoble, France)* ». Le dispositif corporel a présenté une sensibilité<sup>1</sup> de 90% et une spécificité<sup>2</sup> de 94% sur 1040 scénarios de chute dont 520 vraies chutes et 520 fausses chutes. La validation clinique a été menée à l'hôpital Broca de Paris sur huit patients âgés de plus de 75 ans. Le système a détecté huit évènements « chute » et 30 évènements « signal d'alerte » dont la sensibilité et la spécificité ont été respectivement de 62,5% et 99,5%. Pour deux patients, aucun évènement n'a été détecté et la tolérance du dispositif a été excellente pour tous les sujets sauf un [60][59].

Parmi les systèmes de surveillance combinés, on trouve également le système proposé par *Almudevar et al* [61][48] qui vise à suivre l'évolution de la démence chez les personnes à risque, vivant avec une assistance (aide-soignant, famille) à domicile. Le système est composé d'un réseau de capteurs environnementaux : détecteurs infrarouges, détecteurs de pression, contacts magnétiques, qui permettent l'identification des *ADL* « *Activity Daily Living* » de la personne. Ce réseau de capteurs est combiné avec un système sans fil de localisation et d'identification, à savoir trois balises sans fil et un bracelet sans fil, dans le but de retracer les trajectoires du porteur. Les données collectées sont stockées dans une unité locale sous la forme d'un dossier de comportement longitudinal. Ce dossier peut être utilisé pour caractériser l'apparition de la démence. Une analyse de données de trois semaines a permis de proposer une méthodologie de reconstitution des trajectoires des porteurs du bracelet. Cette analyse est basée sur l'identification des zones les plus fréquentées et les transitions entre ces zones.

Ils existent d'autres travaux de démonstration notamment les systèmes cités dans [18][54][62][63]. Nous avons présenté une description qui est certes non exhaustive mais qui montre que le problème des systèmes de télésurveillance est davantage un problème de conception et de validation en situation réelle qu'un problème de disponibilité des technologies.

### 4.3. Les systèmes de télésurveillance *Outdoor*

Il s'agit, dans cette section, de dresser une liste non exhaustive des systèmes de télésurveillance intégrant un dispositif embarqué de géolocalisation « *GPS* » et un dispositif

---

<sup>1</sup> La sensibilité d'un détecteur de chute est sa capacité à détecter une chute [59]

<sup>2</sup> La spécificité d'un détecteur de chute est sa capacité à détecter seulement la chute [59]

de communication sans fil de type *GSM*, *Wi-Fi*. Ce type de système est conçu pour assurer la sécurité des personnes dépendantes, qu'il s'agisse de personnes autonomes fragiles ou de personnes fortement dépendantes. Pour ce faire, le système doit élaborer et transmettre les alertes vers les centres d'assistance afin de permettre leurs interventions. Les situations critiques détectées sont le plus souvent la fugue et l'errance qui sont les principaux troubles cognitifs qui touchent les personnes notamment celles atteintes de la maladie d'Alzheimer. Ces systèmes de télésurveillance sont souvent exploités en « *outdoor* », pour la détection directe des personnes précédemment citées.

#### 4.3.1. Les systèmes commercialisés en France

Les médaillons [64] sont connus depuis de nombreuses années. Simple d'utilisation, ils se présentent généralement sous la forme de bouton d'alarme. En cas de besoin, la personne surveillée appuie sur le bouton qui communique via des ondes-courtes avec un boîtier branché sur la ligne téléphonique standard de la maison. Le boîtier appelle le centre. Cependant, les systèmes de médaillon actuels comportent quelques limitations :

- Une zone de surveillance restreinte dans l'habitat (rayon < 200m) : ils ne fonctionnent pas lorsque la personne va au jardin, rend visite à ses voisins ou fait ses courses.
- Ce genre de système n'est pas compatible avec les malades atteints de la maladie d'Alzheimer étant donné que l'alerte ne peut être déclenchée que manuellement.

Le bracelet-téléphone de type *Columba* [65] est un des premiers dispositifs « Anti-fugue » commercialisé en France depuis 2007. Il a été développé par Orange en collaboration avec la société canadienne « *Medical Intelligence Technologies* ». Ce bracelet (Figure 7) est équipé d'un système de géolocalisation GPS-Assisté et d'un émetteur/récepteur *GSM/GPRS*, ainsi que d'un logiciel « intelligent » d'émission d'alertes, ce qui lui permet d'assurer trois fonctions principales :

- Déclenchement d'alertes en cas de sortie de zone (cercle de 500 mètres autour du domicile),
- La géolocalisation du porteur du bracelet,
- L'établissement d'un appel vers la famille ou le personnel médical.





Figure 7. Le bracelet-téléphone *Columba* [65].

Dès que le porteur du bracelet sort d'un périmètre prédéfini, le centre d'appel médicalisé, opérant 7j/7 et 24h/24, est automatiquement alerté et peut contacter rapidement la famille ou le personnel soignant afin de coordonner l'assistance. Un des points faibles de ce bracelet est que le périmètre de sécurité doit être prédéfini, ce qui augmente le taux des fausses alertes de sortie de zone [66]. Ce dispositif n'est plus commercialisé à ce jour.

Le bracelet **BlueGard** [67], remplaçant du *Columba*, est commercialisé en France par la société *Bluelinea*. Il vise à garantir aux personnes vulnérables une autonomie et une sécurité de déplacement dans leur lieu de vie. Equipé de *GPS* et du *GSM/GPRS*, ce bracelet (Figure 8) peut alerter le personnel médical ou la famille si son porteur est localisé hors de la zone préalablement prédéfini (la distance peut varier de 500 mètres jusqu'à plusieurs kilomètres). A l'intérieur du domicile, le bracelet désactive le *GPS* afin de réduire la consommation énergétique, pour ne laisser que la connexion *RF* (Radio Fréquence) avec une station d'accueil qui permet le rechargement de la batterie à distance. Cette méthode de rechargement évite à la famille de retirer le bracelet du poignet [68].



Figure 8. Le bracelet *BlueGard* [68].

La balise *Aloïze* [69] est un boîtier qui se porte à la ceinture (Figure 9). Il est équipé d'un système *GPS* et d'une puce *GSM*, donnant la possibilité à la famille d'accéder via Internet à une carte qui indique la position du malade ou à un serveur téléphonique restituant par synthèse vocale sa localisation [35].



Figure 9. Balise *Aloïze* [69].

Avec une autonomie de quatre jours, la balise *Aloïze* à deux modes de fonctionnement :

- *Aloïze*, en mode veille, ne transmet rien : elle attend un ordre éventuel pour passer en mode actif (*SMS*). L'aidant ou le tuteur peut, à son initiative, demander la localisation du malade (remontée des coordonnées *GPS* par *GPRS*) qui est transmise soit par téléphone soit par Internet sous forme de cartes graphiques. La localisation donnée par le *GPS* est transmise en temps réel par *SMS* à la plateforme d'appel.
- *Aloïze*, en mode actif, transmet 10 fois par heure une adresse précise (*GPS*) et une restitution cartographique via Internet. Une option de sortie de zone est également disponible : 1 à 5 zones de vie avec alarme peuvent être programmées permettant d'être alerté en cas de sortie du patient de chaque périmètre défini.

#### 4.3.2. Les systèmes proposés dans la littérature

Plusieurs autres systèmes sont proposés dans la littérature, et qui partagent comme objectif la détection des situations de fugue ou d'errance [62]. Ils intègrent généralement un système de cartographie afin de localiser la personne errante en cas de situation de danger ou à la demande. Parmi ces travaux, on retrouve :

*Ogawa* et al [70] ont développé un système de support de sécurité qui détecte les personnes errantes et transmet les coordonnées de leurs emplacements. Grâce à un terminal portable *PHS* « *Personal Handy-phone System* »<sup>3</sup> l'identifiant est envoyé chaque minute à travers le réseau téléphonique. L'opérateur peut localiser l'antenne la plus proche de la personne (la distance entre l'antenne et la personne ne dépassant pas 100 mètres). Cette information est renvoyée directement sur le PC qui vérifie si la personne est hors de la zone de sécurité. Si c'est le cas, une notification d'alerte est envoyée au téléphone du personnel médical. Par la suite, ce système a été développé en l'intégrant dans un collier muni en plus d'un microphone

---

<sup>3</sup> *PHS* « *Personal handy-phone system* » : est une norme de communication radioélectrique pour la téléphonie mobile, utilisée principalement en Asie. Elle a pour avantage par rapport au *GSM* une consommation électrique plus faible des terminaux.

[71]. Dès que le porteur du collier est localisé hors de la zone de sécurité, le système démarre l'enregistrement du bruit de l'environnement qui sera envoyé avec les coordonnées de localisation aux aides-soignants. Cet enregistrement fournit davantage de précisions sur l'emplacement et la situation du porteur du collier.

*Miskelly* [72] a présenté une étude sur l'utilisation des bracelets de surveillance électroniques des prisonniers (développés par la société *Dmatek* en *Israël*) sur des personnes âgées atteintes de démence. Largement utilisés en Europe, ces bracelets sont équipés d'un transmetteur radio qui permet de manifester en permanence leur présence dans la zone de sécurité, vers un central distant. Il peut aussi détecter l'accès à des zones à haut risque. Dans des travaux ultérieurs [73], l'auteur a proposé un système de détection des situations d'errance en utilisant un téléphone équipé d'un *GPS*. Le téléphone envoie la position du porteur du téléphone vers un poste central, suite à une requête de ce dernier, toutes les cinq minutes. L'avantage de ce système réside dans le fait que les utilisateurs et leurs familles doivent répondre à un questionnaire concernant les trajets habituels effectués par le porteur du téléphone. Ce principe permet de minimiser considérablement les fausses alertes. De plus, le système prend en compte les horaires dans la définition préalable des zones de sécurité (ex : une zone considérée comme sécurisée pendant la journée ne l'est plus la nuit).

Les systèmes « *outdoor* » proposés ci-dessus sont limités par la nécessité d'une prédéfinition manuelle des zones de sécurité. D'un point de vue fonctionnel, les paramètres configurés ne prennent pas en compte tous les trajets habituels du porteur du système. Quand ils sont pris en compte, cela est réalisé de façon statique, comme illustré dans [73]. Toutefois, l'application *Android iWander* [74] propose une solution à ce type de problématique. Cette application embarquée sur un Smartphone collecte les données de localisation, les horaires, les conditions climatiques, le stade de la démence du porteur du téléphone et ses commentaires. En utilisant la technique du réseau bayésien [75], l'application permet d'évaluer la probabilité d'un comportement d'errance chez l'utilisateur du système. En fonction de cette probabilité, cette application prend une décision selon un protocole d'intervention prédéfini, en fonction de la gravité de la situation : soit elle essaie d'orienter l'utilisateur, soit elle sollicite les aides-soignants en envoyant son emplacement. L'application active la surveillance d'errance uniquement si la personne est localisée hors de la zone de sécurité, généralement son domicile. Cette zone est automatiquement identifiée en récupérant les positions du téléphone. Cet ajustement dynamique des variables d'entrée du modèle bayésien permet de réduire les fausses détections.

## 5. Travaux du *LAAS*

Le *LAAS* s'intéresse depuis de nombreuses années à ces problématiques de surveillance des personnes âgées. Ses contributions essentielles résident dans le choix des capteurs de localisation et dans l'idée de collecter l'ensemble des données disponibles dans le but de « modéliser la normalité » par des techniques d'apprentissage, ainsi que de comparer les données courantes avec les données prédites par le modèle afin d'élaborer une stratégie d'alerte. Ces approches ont été testées dans diverses situations et confrontées aux exigences d'un développement économique (performances, coûts, sécurisation).

### 5.1. Projet *PROSAFE*

Le projet *PROSAFE* [6] a été mené dans le cadre d'un contrat de collaboration entre le *LAAS* et *EDF R&D* durant les années 90. C'est un outil d'aide à la surveillance des personnes âgées ou handicapées non-intrusif. Le système est composé principalement de capteurs de mouvements « infrarouges » répartis sur le lieu de vie de la personne. Au sein d'un réseau de communication filaire, les données sont directement conduites vers un PC embarquant des algorithmes de calcul. Ces calculs sont basés sur des méthodes d'apprentissage statistique, réseau de neurones... Cela a permis d'établir des diagnostics représentatifs de l'état comportemental de la personne. L'identification des situations inhabituelles, pas forcément à risque, s'effectue selon un principe de comparaison en temps réel avec des évaluations statistiques mémorisées et calculées au cours d'une période ultérieure. Une fois la situation inhabituelle détectée, le système envoie l'alerte vers les infirmières avec les informations nécessaires. Le système a fait l'objet d'expérimentations sur 3 patients durant 8 mois (télésurveillance du patient dans la chambre) au sein de la maison de retraite de Charron (*Charente-Maritime*). Plusieurs caractéristiques sont prises en compte telles que la durée de séjour dans des zones particulières, les trajectoires et les événements spatio-temporels. Les résultats de l'expérimentation ont permis de valider l'hypothèse que les habitudes du patient en institution peuvent être utilisées pour détecter des situations à risque durant la nuit [76]. Parallèlement, ces approches de surveillance des habitudes par la mesure des déplacements ont été expérimentées avec le laboratoire *INSERM* de Toulouse en environnement hospitalier [77][78].

Dans le but de valider ce concept dans un environnement plus complexe à domicile, le système a été installé dans plusieurs appartements (foyers logements à Orléans), pour la

surveillance d'une personne vivant seule [11]. L'avantage d'une telle extension au système *PROSAFE* est que la surveillance devait être effective aussi bien de jour comme de nuit, ce qui a suggéré le développement d'une architecture système de télésurveillance multifonctionnelle de type plateforme multiservice. Cette plateforme peut gérer à la fois le confort et la sécurité de la personne et également d'autres services tels que l'appel d'urgence de la plateforme d'assistance ou l'aide apportée au personnel médical (traitement des données actimétriques en différé pour le diagnostic médical.)

## 5.2. Projet *OURSES*

Le projet *OURSES* « *Offre d'Usage Rural de Services par Satellite* » est un projet du Pôle de compétitivité « Aéronautique, Espace et Systèmes Embarqués » (*AESE – Aerospace Valley*) des régions *Midi-Pyrénées* et *Aquitaine* [13]. Ce projet avait pour but de mettre en évidence l'intérêt des technologies de la communication par satellites pour la surveillance directe de personnes isolées dans les zones rurales qui ne disposent pas de moyens d'accès aux réseaux à haut débit. L'application choisie dans le cadre du projet était la télémédecine, et plus particulièrement les services d'assistance médicale des personnes âgées ou à risque dans ces zones.

Le système de télésurveillance mis en œuvre se compose de trois services. Le premier est une liaison satellitaire entre 2 terminaux. Cette liaison permet aux médecins, distants de plusieurs kilomètres d'entrer en contact avec les aides-soignants qui se trouvent à proximité du patient, à domicile ou en institution. Le second service consiste à surveiller à distance et en temps réel l'électrocardiogramme (*ECG*). Le système analyse le signal provenant du capteur *ECG* porté par le patient. Le médecin peut être alerté si le système détecte une anomalie ou analyser toutes les données enregistrées à distance. Le troisième service a pour but de suivre les déviations comportementales du patient pendant la nuit grâce aux détecteurs de mouvements déployés dans sa chambre. Les alertes sont envoyées sur le PC des médecins distants quand une situation anormale est détectée.

Le système *OURSES* a fait l'objet d'une évaluation clinique dans la maison de retraite médicalisée « *Tibiran-Jaunac* » au cœur d'une région rurale dans les *Hautes-Pyrénées*. Ces expérimentations ont montré la faisabilité technique de cette approche de surveillance, et ont permis de constater que l'utilisation d'un système de télésurveillance à travers la technologie satellitaire dans les régions éloignées et isolées peut être bénéfique et économiquement

intéressante. De plus, il permet de faciliter le travail des médecins qui peuvent s'occuper ainsi de plusieurs établissements distants à la fois. D'autre part, le personnel médical trouvait particulièrement intéressant l'assistance apportée par cette télésurveillance du comportement des personnes fragiles durant la nuit, et plus particulièrement dans le cas des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.

## 6. Synthèse des travaux présentés

Le tableau suivant présente une synthèse des travaux cités dans ce chapitre. Ces travaux sont classés par milieu de surveillance ciblé, type du système (environnemental, portable ou combiné) et l'étape d'industrialisation (prototype de recherche ou commercial).

Système de surveillance	Milieu de surveillance	Type de système	Etape d'industrialisation
<i>Clark [39]</i>	Indoor	Environnemental	Prototype de recherche
<i>McLuckie [40]</i>			
<i>Celler [35][41]</i>			
<i>Anchor Trust/BT Telecare Project [38][42]</i>			
<i>Cameron, Doughty [43][44]</i>			
<i>HIS<sup>2</sup> [45][7]</i>			
<i>Biswas [46]</i>			
<i>Suzuki [47]</i>			
<i>Simbad [75]</i>			
<i>CareWatch [49][50]</i>			
<i>CareMedia [51]</i>			
<i>PROSAFE [6] [11][74]</i>			
<i>OURSES [13]</i>			
<i>SALVEO [52]</i>			
<i>Almudevar et al. [60]</i>		Combiné	Prototype de recherche
<i>Vigi'Fall [57][56][59]</i>	Dispositif Portable	Commercial	
<i>Vivago Care [55][54]</i>			
<i>Bracelet-téléphone Columba [65]</i>			
<i>Bracelet BlueGard [62]</i>			
<i>Balise Aloïze [68]</i>		Prototype de recherche	
<i>Ogawa et al. [69]</i>			
<i>Miskelly [72][71]</i>			
<i>iWander [73]</i>			Commercial

Tableau 1. Synthèse des travaux cités.

## 7. Verrous à résoudre

Ce travail de thèse s'intègre dans la continuité des travaux que nous avons évoqué précédemment (*PROSAFE* et *OURSES*). L'idée initiale était de prendre en compte les limites identifiées dans les systèmes précédents et de proposer un système complet qui exploiterait encore davantage nos approches de modélisation et d'intelligence artificielle :

- Proposer un système complet, c'est y introduire une plus grande diversité de capteurs, notamment la possibilité de travailler dans un environnement plus complexe (secteur élargi, nombre de personnes concernées),
- C'est aussi rendre le système plus intelligent au sens où il serait capable de se reconfigurer en fonction de la personne surveillée et des variations de son environnement.

Nous avons donc focalisé notre travail sur trois points essentiels : l'ouverture vers l'extérieur, la mise en œuvre sur site réel et la validation à la fois clinique et industrielle.

### 7.1. Ouverture vers l'*Outdoor*

Suite aux avancées des technologies sans fil, la sécurisation des personnes fragiles à l'extérieur de leur domicile est devenue envisageable dans la mesure où la solution prend en compte tous les aspects éthiques et ergonomiques. Davantage de liberté est laissée à la personne tout en maintenant les exigences en termes de performance de détection et de sécurité des personnes. En partant de cette constatation, nous avons comme objectifs :

- **A travers le système *Homecare***, de proposer une sécurisation de proximité (jardin, entourage) en utilisant les moyens de communication sans fil existants (ZigBee, Wi-Fi, GPS, GSM...). En tant qu'extension du système *PROSAFE*, le système *Homecare*, qui fait partie des systèmes de télésurveillance combinés, permet d'assurer une surveillance continue en *indoor* et en extérieur proche [79]. Cela est réalisé grâce à une fusion multi-sensorielle de détecteurs environnementaux et d'un dispositif d'identification sans fil porté par le sujet. Selon nos enquêtes menées auprès du personnel soignant en institution, nous avons identifié les situations à risque auxquelles sont confrontés fréquemment les patients, à savoir, la chute, la déambulation, la fugue.

- **A travers le système *BÉA***, de proposer une approche dynamique de détection des cas d'errances pour personnes dépendantes. Cette approche vise à réduire l'angoisse liée à la peur de se perdre chez la personne fragile. En effet, les systèmes décrits dans ce chapitre ne prennent pas en compte les trajectoires habituelles de la personne et leur variation (excepté le système *iWander*). La solution que nous proposons a l'avantage d'être dynamique ; elle s'adapte aux trajets routiniers de la personne.

## 7.2. Mise en œuvre sur site réel

Les expérimentations en site réel sont considérées comme une étape inévitable dans le processus de validation des usages. La mise en œuvre du système en conditions réelles d'utilisation permet d'aborder plusieurs difficultés qui n'apparaissent pas lors des tests en laboratoire. Durant la mise en œuvre de notre système, nous avons pris en considération les recommandations des utilisateurs (personnel médical) dans la définition des besoins afin d'augmenter le niveau de fiabilité et d'acceptabilité du système de télésurveillance. A travers les expérimentations effectuées au sein de l'unité Alzheimer de l'hôpital de Caussade, nous avons pu collecter des données réelles sur une période de 6 mois. Ces données nous ont servis de base à la mise en œuvre de notre plateforme de télésurveillance et de nos algorithmes de traitement.

## 7.3. La validation clinique et industrielle

Impliquer les utilisateurs finaux dans la définition des spécifications du système nous a permis de proposer un système prenant en compte les cas d'utilisations réelles. Ainsi, nous présentons dans ce manuscrit un retour d'expérimentations de la plateforme installée au sein de l'unité Alzheimer de l'hôpital de Caussade. Ce retour d'expérience est nécessaire afin d'identifier les points à améliorer pour rendre le système plus pertinent. Nous présentons également une première étude de marché qui permet de mieux cibler les utilisateurs finaux. La démarche engagée pour l'industrialisation de notre plateforme s'inscrit dans la continuité des travaux et acquis antérieurs sur les systèmes *PROSAFE* et *OURSES*.



## 8. Conclusion

Ces dernières années, les exigences ont beaucoup évolué sur le plan des techniques pour la conception des plateformes de maintien des personnes âgées, dépendantes ou handicapées, avec l'extraordinaire développement des télécommunications et des réseaux informatiques. Toutefois, la question du maintien à domicile de ces personnes reste encore un chantier ouvert.

Nous avons exposé au début de ce chapitre la problématique du vieillissement de la population dans les pays développés, ainsi que la nécessité de proposer des solutions technologiques qui peuvent apporter une assistance aux personnes dépendantes. Ensuite, nous avons dressé une liste non-exhaustive des systèmes de télésurveillance présents dans la littérature selon les technologies utilisées et le type de services offerts. Puis nous avons exposé brièvement l'expérience acquise par le *LAAS* à travers les projets *PROSAFE* et *OURSES*.

A la fin de ce chapitre, nous avons présenté les objectifs de notre démarche de travail menée dans le cadre des projets *Homecare* et *BéA*. Le chapitre suivant consiste à détailler notre contribution et méthodologie de conception de la plateforme de télésurveillance *Homecare*.

## **Chapitre 2**

### **Conception d'une architecture de système de télésurveillance**



## 1. Introduction

La mise en œuvre d'un système de santé performant pour les personnes à risques est évidemment très coûteuse par la fréquence et la nature souvent « lourde » des interventions thérapeutiques. L'objectif de ce chapitre est d'évaluer le rôle des technologies numériques de surveillance au service de cette mise en œuvre. Deux axes complémentaires sont explorés :

- **La prévention** qui s'appuie sur le concept de personnes « fragiles » [29][27], à qui l'on proposerait des surveillances régulières organisées, pour prévenir la survenue de difficultés et le cas échéant, les traiter au plus tôt,
- **Le maintien à domicile** tirant parti des avancées récentes des technologies de l'information et de la communication pour sécuriser le patient et alléger les séjours et les visites hospitalières.

Dans ce chapitre, nous présentons l'étape de conception du système *Homecare* sur la base de spécifications et de la problématique explicitées au chapitre 1. Après une brève description fonctionnelle du système, nous nous attacherons à décrire les choix technologiques (matériels et logiciels). A la fin du chapitre, nous présentons les algorithmes de diagnostic, basés sur l'analyse de présence et des déplacements, qui permettent la détection de la déviation comportementale.

## 2. Démarche de conception

Le projet *Homecare* a vocation à proposer une solution technique possible, démontrer sa faisabilité et illustrer son opérationnalité en site protégé. C'est un projet ANR (2009-2012) conduit par le *LAAS-CNRS*, avec la collaboration des entreprises : *CEDOM* et *Atos Origin* et l'appui de l'Hôpital de Caussade et de l'IET (Institut Européen de Télémedecine). Il fait suite à plusieurs études antérieures conduites par le *LAAS-CNRS* sur la surveillance des personnes âgées, dépendantes ou handicapées (projet *PROSAFE* et *OURSES*). Elles remontent à presque 20 ans, dans le prolongement d'une enquête prospective du *CNRS* [80], qui concluait en 1997 sur deux grandes perspectives de Recherche :

- l'émergence d'une dynamique « Domotique » qui promettait le développement industriel d'un habitat très informatisé et automatisé,
- l'anticipation que l'on pouvait faire du vieillissement de la population qui impliquait d'innover en matière de surveillance et de suivi des personnes âgées.

Dans la section suivante, nous rappelons la méthodologie de conception suivie, qui s'inspire des démarches génériques proposées par les standards de l'ingénierie des systèmes. Dans cet esprit, nous avons choisi d'appliquer la démarche proposée par le cycle de vie des systèmes selon le modèle en V (Figure 10). Nous sommes dans la partie descendante de la représentation qui conduit à un prototypage de notre dispositif *Homecare*, puis à une étape de validation dans sa partie montante. Ce modèle propose donc une démarche continue qui permet d'organiser les étapes intermédiaires de vérifications : vérification de la logique fonctionnelle puis vérification des choix technologiques. Il convient donc tout d'abord, d'établir la solution logique fonctionnelle du système à concevoir sur la base du cahier des charges. Cette solution est modélisée en utilisant le formalisme *SysML* (*Systems Modeling Language*) à travers les diagrammes que propose ce langage (diagramme de contexte, diagramme des cas d'utilisation et diagramme de séquence). Une fois la modélisation définie, nous pouvons introduire les choix technologiques qui nous permettent de concrétiser la conception physique de *Homecare*. Cette conception inclut :

- Les choix matériels : composants, capteurs, architecture réseau, dispositif de localisation et d'identification, etc.
- L'aspect logiciel du système : algorithmes d'apprentissage et de diagnostic utilisés, gestion de la visualisation, etc.

Dans le volet logiciel, nous proposons d'appliquer une modélisation du comportement de la personne basée sur l'apprentissage de ses habitudes de séjour. Cette approche vise à exploiter les données recueillies par le système d'une façon personnalisée et auto adaptative.

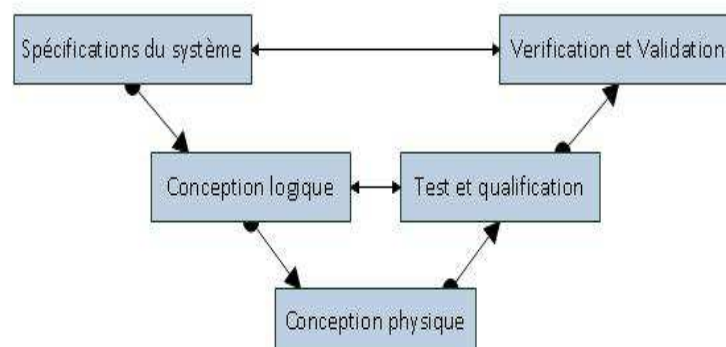


Figure 10. Cycle de développement de *Homecare*.

### 3. Modélisation fonctionnelle de *Homecare*

*SysML* est un langage de modélisation pour l'ingénierie des systèmes. Il permet de modéliser les étapes de spécification, d'analyse et de conception. Il permet aussi certaines étapes de vérification. Les systèmes traités par *SysML* peuvent inclure du matériel, des logiciels, des informations, des processus, du personnel et des installations. Il est spécifié comme un dialecte de *UML (Unified Modeling Language)* [81][82]. Pour ce qui nous concerne, nous n'utiliserons essentiellement que trois diagrammes de description *SysML* :

- Diagramme de contexte.
- Diagramme de cas d'utilisation (*Use cases*) : Ce diagramme est utilisé pour donner une vision globale d'un système pour formaliser les besoins dans une représentation graphique suffisamment simple pour être compréhensible. Donc, il permet de recenser les grandes fonctionnalités d'un système.
- Diagramme de séquence : C'est la représentation graphique des interactions entre les acteurs et le système dans un ordre chronologique. Il décrit le dialogue entre les acteurs dans chaque cas d'utilisation en fournissant des détails fonctionnels.

#### 3.1. Contexte du système *Homecare*

Le système *Homecare* a comme fonction principale la télésurveillance et le maintien à domicile ou en institution des personnes fragiles ou dépendantes (sécurisation). Cette fonction met en interaction trois acteurs avec le système (Figure 11) :

- **Le patient** fournit en permanence au système, de manière passive, les informations le concernant, notamment l'information de localisation. Dans un environnement complexe, il est nécessaire qu'il envoie également un signal d'identification.
- **L'Aide-soignant/Famille** sont les personnes qui vivent avec le patient, et qui peuvent intervenir en cas de besoin (à la suite de réception de messages d'alerte envoyés par *Homecare*). Selon l'ambition du système, l'environnement du patient peut être simplement destinataire des alarmes ou bien destinataire et fournisseur d'informations.
- **Le médecin et le personnel soignant** reçoivent les avis d'alarmes ; ils peuvent consulter les données recueillies et bénéficier du suivi longitudinal à partir du système (paramètres actimétriques, historique des alertes, etc.). Cette consultation doit se faire via une interface informatique et suppose donc un accès à distance.

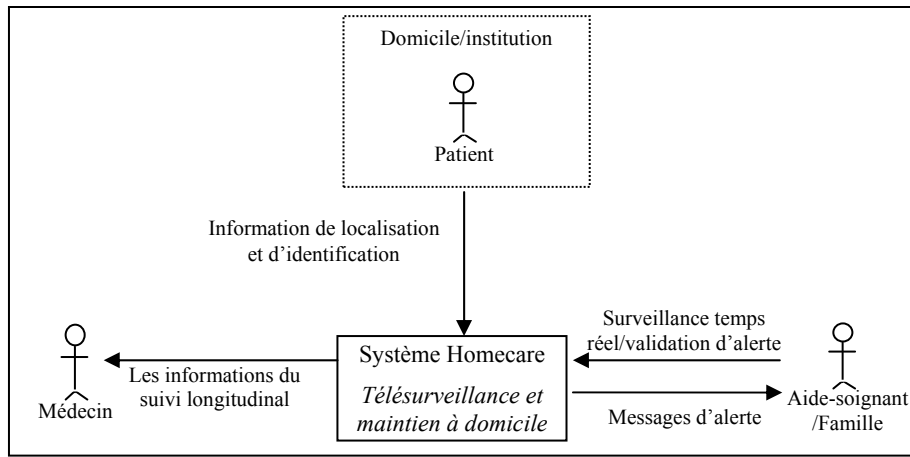


Figure 11. Diagramme de contexte dynamique du système *Homecare*.

### 3.2. Cas d'utilisation du système *Homecare*

Sur ces bases, on peut distinguer deux cas d'utilisation (Figure 12) :

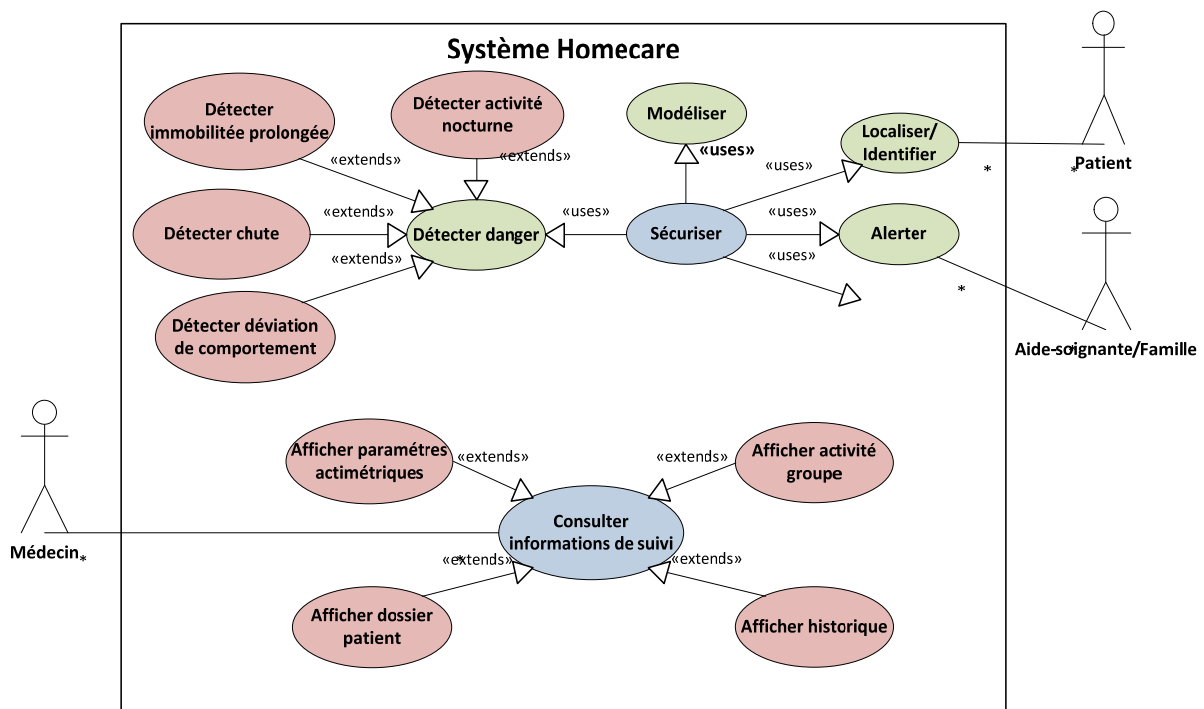


Figure 12. Les cas d'utilisation du système *Homecare*.

#### 3.2.1. Sécurisation (Cas d'utilisation principal)

C'est un service qui nécessite une surveillance en temps réel 24 heures sur 24 et, en cas d'alerte fait intervenir du personnel médical ou la famille. Notre démarche technique s'appuie sur les données de localisation et d'identification. Elles sont régulièrement collectées,

archivées et utilisées par le système afin d'effectuer une modélisation des habitudes comportementales du patient. Des marges de sécurité peuvent être ainsi définies et des seuils de référence sont déduits et utilisés pour détecter en temps réel les déviations de comportement que peut avoir la personne. Dans ce cas, son entourage devra être alerté par un message généré par le système.

Ces périmètres de sécurité concernent :

- **L'immobilité prolongée** : c'est l'absence de mouvement de la personne dans un lieu du domicile pendant une période qui dépasse le temps habituel. Ce critère peut être le signe d'un malaise ou d'une chute.
- **Activité nocturne** : c'est l'activité gestuelle de la personne sur son lit pendant la nuit.
- **Les chutes** : la détection de cet évènement permet de diminuer le temps d'intervention et ainsi éviter que la personne ne se trouve dans l'incapacité de se relever. De plus, la chute répétée peut se traduire comme un signe de passage de la fragilité vers la dépendance [83].

Les méthodes de calcul de ces trois périmètres seront détaillées dans le chapitre 4.

- **Déviati on comportementale** : c'est une déviation qui porte sur le déplacement/présence de la personne. Elle est définie comme étant la différence entre la distribution du temps de présence habituelle dans les différentes zones surveillées et la distribution mesurée sur une tranche horaire prédéfinie. Ce critère peut être signe de comportement suspect s'il est corrélé avec d'autres observations médicales (ex : observations neuropsychiatriques à la suite de prise de traitements médicamenteux). Nous présentons dans ce chapitre notre approche pour la définition de cette déviation.

### 3.2.2. Suivi longitudinal (Cas d'utilisation secondaire)

Ce service doit être fourni aux médecins dans le but de leur permettre de suivre l'état de santé de la personne à distance et sur une longue période. En effet, les informations choisies pour la consultation à travers ce service peuvent aider les médecins traitants à suivre l'évolution à risque chez les personnes fragiles et conduire à des traitements préventifs. Ces informations sont :

- **Paramètres actimétriques** : c'est le suivi de l'activité à travers la mesure de la distance parcourue, la vitesse de déplacement, l'activité nocturne (agitation dans le lit, nombre du coucher-lever, nombre d'aller-retour vers la salle de bain), et la déviation de temps de présence.



- **Activité du groupe** : c'est le suivi du taux d'activité de l'ensemble des personnes présentes dans l'environnement surveillé. Cela peut être utile pour anticiper des cas d'urgence en affectant plus de personnel (dans des environnements de type EHPAD).
- **Historique des alertes** : les médecins traitants peuvent voir l'historique des alertes générées.
- **Dossier du patient** : c'est une numérisation des fiches médicales (fiches neuropsychiatriques, traitements prescrits, observations des aides-soignantes...). Cela a pour but de regrouper toutes les informations du patient dans une seule base de données ce qui facilite, au personnel médical, l'accès et le suivi de ces informations.

### 3.3. Diagramme de séquence rapporté au cas d'utilisation principal

Le diagramme de séquence de la Figure 13 présente les interactions entre les acteurs (patient-Système-aides soignants/famille). Ces interactions détaillent les messages échangés entre ces acteurs dans un ordre chronologique dans le but d'assurer la fonction principale (sécurisation). Les données de localisation/identification sont sauvegardées dans la base du système puis comparées avec les seuils déjà calculés. Cette opération de diagnostic génère une alerte en cas de dépassement, qui n'est prise en compte par le système, que si, et seulement si, les aides-soignants/famille la valident. Cela déclenche une opération de réapprentissage qui permet de réajuster les seuils. Ainsi, le nombre des fausses alertes est réduit.

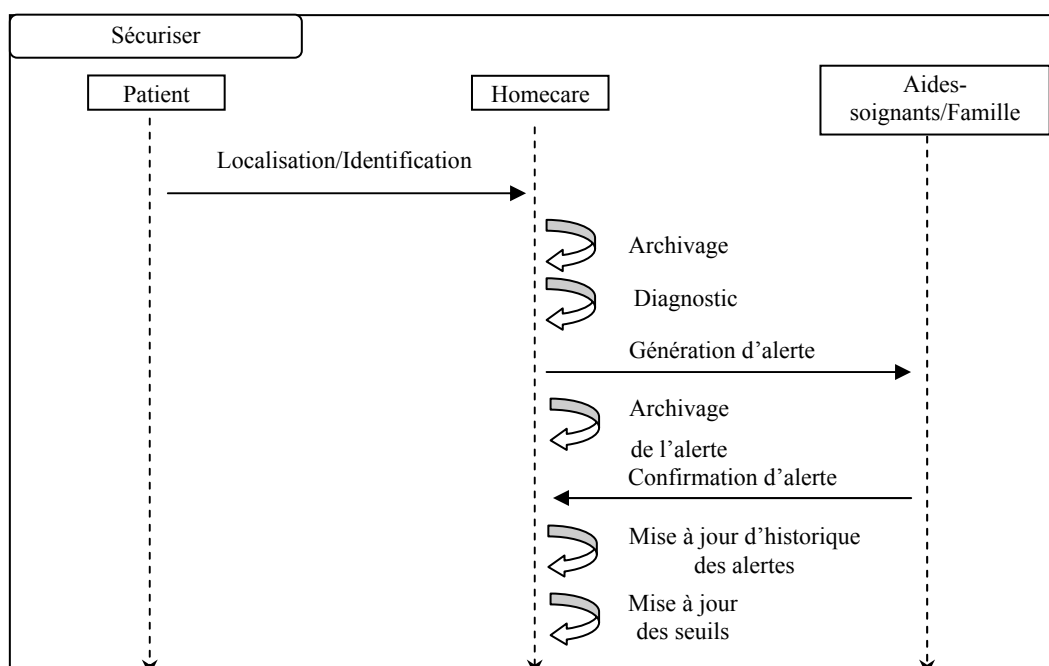


Figure 13. Diagramme de séquence rapporté au cas d'utilisation principal.

## 4. Choix technologiques

*Homecare* se présente donc comme un système de télésurveillance multi-sensoriel : des capteurs sont répartis dans l'environnement en des points et pour des mesures « stratégiques ». Les données sont transmises en priorité via des voies de télécommunications « sans fil » et traitées en temps réel pour effectuer un diagnostic de la situation courante et proposer des actions. Cela conduit, du point de vue de l'architecture système, à une configuration telle que présentée à la Figure 14. La connexion du système local au réseau Internet permet d'organiser les échanges avec tous les acteurs concernés : le médecin traitant, le service hospitalier concerné, les accompagnants, la famille, les patients eux-mêmes.

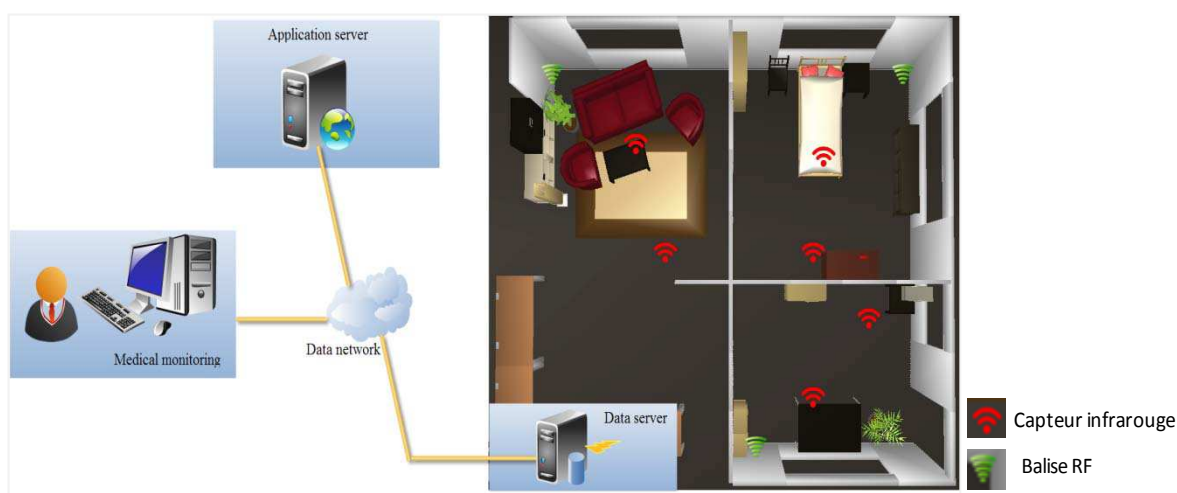


Figure 14. Architecture de la plateforme *Homecare*.

### 4.1. Réseau de capteurs utilisé

#### 4.1.1. Détecteurs de présence

*Homecare* se présente pratiquement comme un réseau multi-capteurs répartis dans la zone de vie de la personne (chambre, appartement, proximités...). Ces capteurs peuvent être de natures très diverses : barrières optiques, micro contacts, capteurs infrarouge (IR), portiques, etc. Ce sont des capteurs spécifiques ou des capteurs issus des systèmes de sécurisation des biens. Le choix va naturellement dépendre du site et des priorités de surveillance. Dans la surveillance des personnes, une exigence forte est le respect de leur intimité ce qui nous a fait privilégier les capteurs IR de type passif (PIR) : ils sont très largement diffusés pour la détection sécuritaire d'intrusions, de faible coût. Nous avons adapté ce type de produit à nos besoins pour que ces capteurs soient capables de caractériser les mouvements des personnes

se déplaçant dans un environnement de capteurs multiples<sup>4</sup>. C'est un choix déjà ancien qui a conduit à plusieurs études sur la déambulation et agitation de certains patients notamment de nuit [15][6].

Afin de suivre le comportement nocturne des personnes, nous utilisons des capteurs de pression sous le matelas du lit [84]. Ces capteurs ont été adaptés pour qu'ils puissent détecter le lever-coucher de la personne. Ce qui permet par la suite, le calcul du temps de présence dans le lit. La Figure 15 montre les détecteurs de présence utilisés.



Figure 15. Capteurs de présence utilisés.

#### 4.1.2. Module d'identification

Le module d'identification utilise les ondes radio pour la communication de données d'identification de la personne. Le système se décompose en deux parties : une partie mobile et une partie fixe appelées respectivement dispositif *Tag* et dispositif *Balise*.

Le module d'identification s'interface avec un environnement utilisant de nombreux capteurs de présence (infrarouge, pression) et permet d'associer une personne à l'activation d'un détecteur ou d'un ensemble de détecteurs.

Le *Tag* (Figure 16) est un composant central du système de surveillance car il a pour mission de permettre l'identification du patient et d'assurer par ailleurs la localisation en l'absence d'autres capteurs de présence. Il est équipé d'un SIP « System In Package » de *Freescale* regroupant un microcontrôleur 8 bits et un modem radio afin de transmettre les informations d'identification vers la *Balise*. Ce *Tag* embarque, également, un accéléromètre numérique

<sup>4</sup> Les capteurs infrarouge utilisés pour la localisation sont placés dans le plafond et orientés vers le sol de telle façon que chaque capteur couvre une superficie de 1 à 2 m<sup>2</sup>. Ainsi, toute la zone surveillée est quadrillée.

*ADXL345* de chez *Analog Device* utilisé pour la détection de chutes [85]. Cependant, il existe pour ce dispositif embarqué, une exigence très forte de miniaturisation car il doit être transparent pour l'utilisateur : intégré dans un vêtement [62], porté par un collier, un bracelet [86], ou porté à même le corps [14][85].

La balise (Figure 16) se compose d'une passerelle *IP/RS232* utilisant le module *CSE-M53* de chez *Sollae* auquel est connectée la partie *Tag* précédemment décrite. Elle est géographiquement fixe, permet de connaître l'emplacement de la personne, en détectant les émissions des *Tags* qui sont à l'intérieur de son champ de détection radio. Cette communication s'appuie sur la norme standard *IEEE 802.15.4* (fréquence de transmission : 2.4 GHz)<sup>5</sup> et permet de transmettre les données d'identification, d'activité et le niveau d'énergie de la pile du *Tag*. La balise reçoit ces informations émises et les redirige vers l'organe de centralisation des données (serveur de données). Le principe de localisation est décrit dans la section suivante.



Figure 16. Module d'identification.

La Figure 17 illustre l'architecture de communication entre les différents équipements du système. Cette architecture réseau est basée sur la mise en place de deux serveurs (local et distant). Le choix d'une architecture distribuée est justifié par la nécessité de sécuriser les données des abonnés (les personnes surveillées) sur un serveur distant hébergé (centralisation de calcul). Ce qui permet également de gérer plusieurs domiciles ou institutions à partir d'un seul serveur de calcul.

Nous avons utilisé des capteurs infrarouges (développés en partenariat avec la société *CEDOM* [87]) qui envoient les données via une communication sans fil grâce à un transmetteur radio (868 MHz) connecté au port série (*RS485*) du serveur de données (serveur

<sup>5</sup> On n'utilise que la couche physique et la couche MAC de ce standard.

local). D'un autre coté, la remontée des informations de la *balise* vers ce serveur de données s'appuie sur le protocole Ethernet et *TCP/IP*. Afin de maximiser la compatibilité avec les domiciles ou établissements de santé, pouvant ne pas être équipé de connectique réseau, nous avons également utilisé des modules utilisant le principe des Courants Porteurs en Ligne (CPL), en remplacement du bus Ethernet entre la *balise* et le serveur de données.

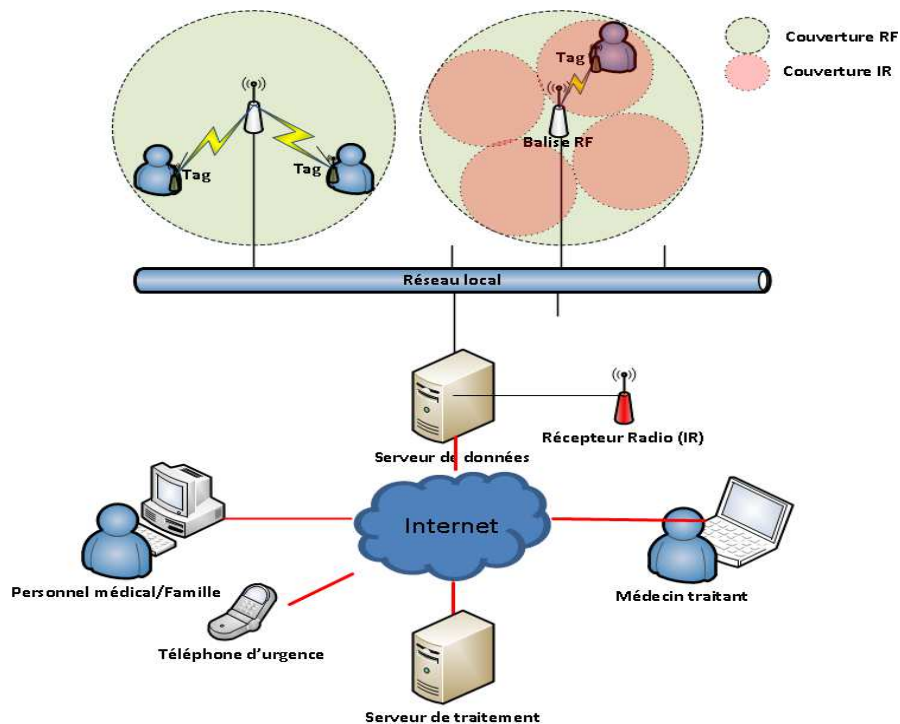


Figure 17. Architecture réseau de Homecare.

Après la réception d'une trame radio d'identification, le dispositif *balise* doit relayer l'information vers le serveur de données via la communication TCP/IP. Le format des trames échangées entre la *balise* et ce serveur est représenté dans le Tableau 2.

Start	ID Balise	ID Tag	RSSI	Niv Pile	Niv Pile	Activité	Stop
-------	-----------	--------	------	----------	----------	----------	------

Tableau 2. Format des trames échangées entre la balise et le serveur des données.

La taille de la trame est de 8 octets (chaque élément a 1 octet). Ils sont configurés comme suit :

- L'octet 1 sert de délimiteur de début de trame. Sa valeur par défaut est 0x55.
- Les octets 2 et 3 permettent d'identifier respectivement le dispositif *balise* qui relaye l'information vers le serveur de données (1 octet) et le dispositif *Tag* qui a émis la trame d'identification (1 octet).

- L'octet 4 nous donne la qualité du dernier signal radio (RSSI)<sup>6</sup> reçu par la balise.
- Les octets 5 et 6 représentent les informations relatives au niveau d'énergie de la pile reçu des dispositifs *Tag* lors de l'identification<sup>7</sup>.
- L'octet 7 donne les informations d'activité de la personne (chute, inactivité).
- L'octet 8 sert enfin de délimiteur de fin de trame. Sa valeur par défaut est *0x5A*.

Le serveur local (serveur de données) est connecté au réseau internet. Cette connexion offre la possibilité de l'envoi des données recueillies vers le serveur de calcul (serveur distant). Ainsi, les utilisateurs (le personnel médical, famille) peuvent venir consulter les informations hébergées sur ce serveur.

### 4.3. Principe de la localisation

Le choix de la méthode de localisation dépend, premièrement, de la précision que nous voulons avoir afin de permettre au système *Homecare* d'être fiable du point de vue de la détection d'évènements et du suivi de la personne, et deuxièmement, des contraintes liées aux technologies utilisées (infrarouge, RF) et leur adaptation à l'environnement instrumenté. Pour assurer la fonction de localisation, nous avons imaginé une solution hybride qui utilise deux informations :

- La puissance du signal reçu (*RSSI*) par les balises *RF* de la part du *Tag*,
- Les détections réalisées par des capteurs infrarouges installés dans les endroits dits « stratégiques ».

La première partie de la localisation se fait par la méthode dite "*Cell ID*" ou « identification de la cellule radio » [88]. Cette méthode consiste à récupérer l'identifiant de la balise à laquelle le *Tag* est plus proche. En effet, étant donné que nous positionnons une balise par pièce, cette information de présence peut être donnée par simple comparaison de *RSSI* reçu, en considérant que la personne se trouve dans la même pièce que la balise ayant le *RSSI* le plus élevé. Cette solution n'est pas fiable en pratique car les signaux radios subissent différentes déformations de trajectoire et l'indication peut donc être erronée par le fait d'interférences incontrôlées. Afin de réduire les erreurs, nous avons mis en place un « espace de vote » pour

---

<sup>6</sup> Received Signal Strength Indication (RSSI) : c'est la mesure de la puissance du signal radio reçu.

<sup>7</sup> Nous avons réservé 2 octets pour l'indication du niveau de la pile afin d'avoir une précision suffisante de la tension électrique.

chaque balise. Cet espace de vote consiste à attendre d'avoir reçu un certain nombre de trames avant de valider la position de la personne. Ainsi, si au bout de 8 trames la balise  $X$  a été détectée 5 fois<sup>8</sup> comme étant la balise la plus proche de la personne, le système retiendra la pièce où se trouve la balise  $X$  comme espace de présence. Cette méthode nous permet de rafraîchir la position du patient toutes les 2 secondes. Ainsi, une fois que l'algorithme de localisation par balise  $RF$  a indiqué dans quelle pièce se trouvait le patient, il nous est possible de n'utiliser que les données des capteurs infrarouges pour une localisation plus fine.

Afin de résoudre le problème des activations simultanées de capteurs adjacents qui peuvent être engendrées par l'utilisateur, nous avons mis en place un deuxième « espace de vote » sur le même principe que celui appliqué aux données  $RF$  sans toutefois attendre de recevoir  $N$  valeurs pour prendre une décision sur la position la plus probable : nous utilisons une *FIFO* (*First In First Out*) par pièce. Les détections infrarouges ne sont donc utilisées que pour localiser la personne dans son espace de vie avec plus de précision (environ 1,5 m). La Figure 17 décrit le concept de la localisation mis en œuvre. La localisation par les capteurs infrarouges n'est utilisée que si, uniquement si, la pièce (où se trouve le *Tag*) est équipée par ces capteurs et est celle du patient suivi. De plus, une limite de cette approche est que la localisation fine par les capteurs infrarouges n'est possible que si la personne, porteur du *tag*, se trouve seule dans sa pièce de vie.

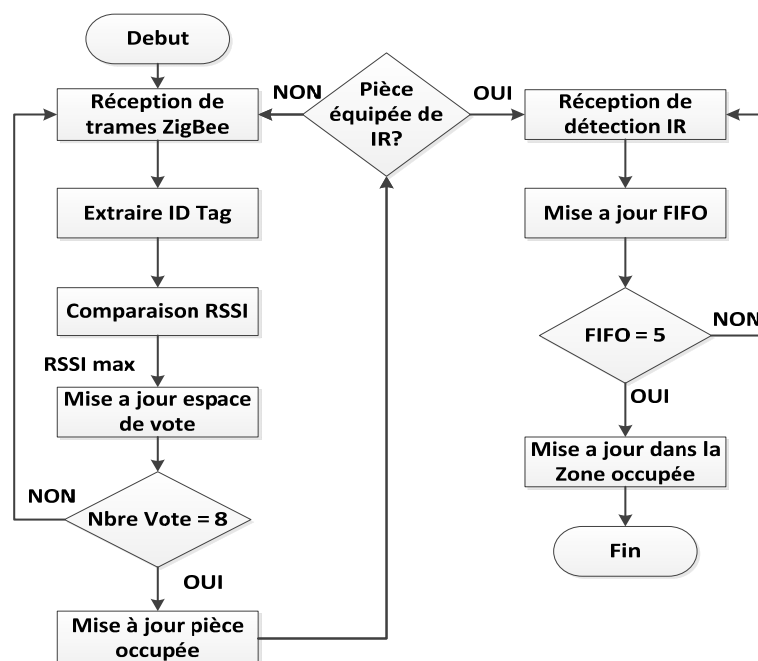


Figure 18. Algorithme de localisation.

<sup>8</sup> Les valeurs 5 et 8 sont définies par calibration, elles sont choisies selon la vitesse de déplacement de la personne et la fréquence de transmission du *Tag*.

#### 4.4. Architecture logicielle de *Homecare*

Le serveur de données (Figure 19) a pour tâches de collecter les données de déplacements et de les stocker dans une base de données locale via le module d'acquisition. Ce même module envoie ces données vers le module d'affichage afin de suivre les déplacements de la personne en temps réel et d'afficher les alertes en cas de détection de cas critiques. Les données de déplacement sont envoyées vers le serveur de calcul une fois par jour via le module d'envoi/réception et stockées dans une deuxième base de données (distante). Le module de calcul différé récupère ces données afin de générer les seuils de la déviation comportementale, agitation nocturne, immobilité prolongée, temps de séjour dans la salle de bains... Ces seuils sont donc renvoyés directement vers la base de données du serveur local pour permettre au module de diagnostic de les comparer avec les données courantes et de générer des alertes (sur l'application temps réel et téléphones) en cas de dépassements.

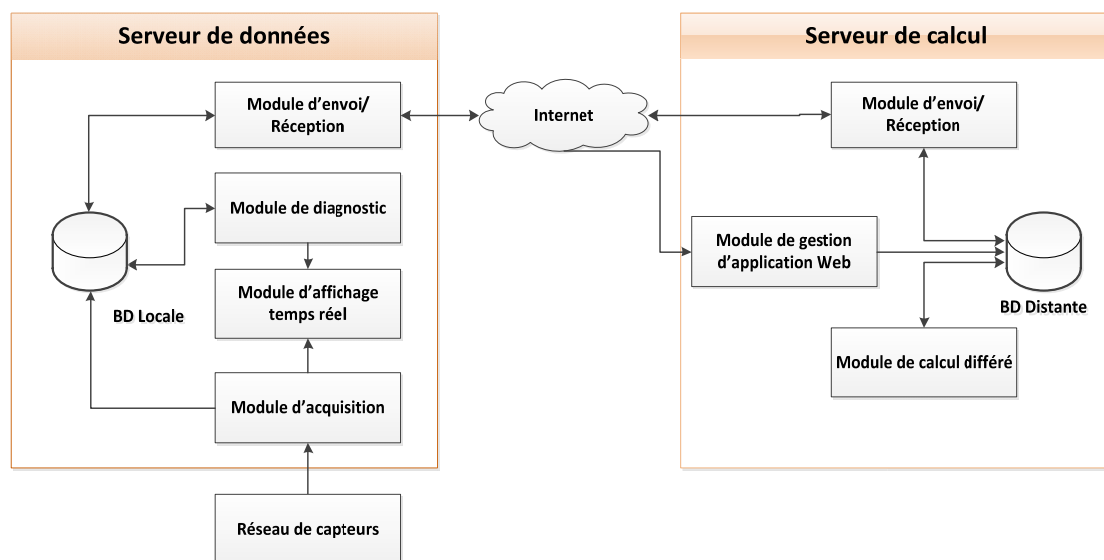


Figure 19. Architecture logicielle de *Homecare*.

### 5. Détection de la déviation comportementale

On peut couramment observer que les personnes sont très conditionnées par leurs habitudes. Les horaires et leurs actions sont relativement répétitifs dans la vie courante, notamment pour les personnes âgées qui tiennent davantage à leurs routines que d'autres catégories de personnes. Le concept de surveillance proposé par *Homecare* tire parti de ces habitudes pour construire automatiquement, par des techniques d'apprentissage, le modèle du comportement habituel, par tranches horaires : ce modèle s'affine avec le temps, de manière auto-adaptative, pour prendre en compte d'éventuelles évolutions lentes du comportement. Ce modèle est alors



considéré comme « prédictif » : il anticipe les déplacements de la personne et les compare aux déplacements réels courants. Cela permet d'extraire une mesure des écarts qui sont exploités pour déclencher (ou pas) une procédure de mise en garde, d'alerte ou d'intervention extérieure [89][90].

Cette démarche de construction d'un modèle expérimental de la normalité du comportement et de comparaison entre données prédites et données réelles, est générique et peut être adaptée à des problématiques très différentes : nous l'avons, au sein du *LAAS-CNRS*, proposée pour la détection de l'hypovigilance du conducteur automobile [91], pour la conduite économe du confort thermique dans l'habitat [92], et plus récemment pour la détection des infestations d'insectes dans les silos à grains [93].

Dans l'application *Homecare*, l'algorithme de modélisation utilisé est embarqué sur le module de calcul différé du serveur distant. Opérationnellement, l'approche consiste à mesurer l'écart modèle prédit/mesures réelles sur la base du temps de présence passé par le patient dans chaque point de localisation. Les seuils de détections sont automatiquement définis par les modèles de référence. Cela nous amène à diagnostiquer qu'une personne possède un comportement suspect si le temps de présence, dans une zone, est trop important par rapport au temps moyen habituellement passé au sein de cette zone, au cours d'une tranche horaire donnée. La mise en œuvre d'un tel diagnostic passe par un processus de traitement tel que décrit dans la Figure 17. Avant de détailler les étapes de ce processus, nous tenons à présenter la notion de trajectoire-déplacement telle que définie dans notre système.

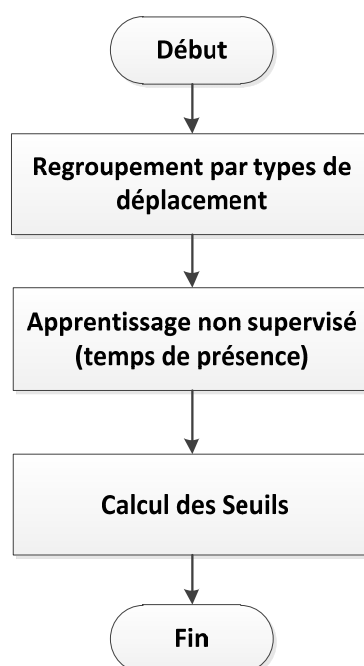


Figure 20. Processus de traitement.

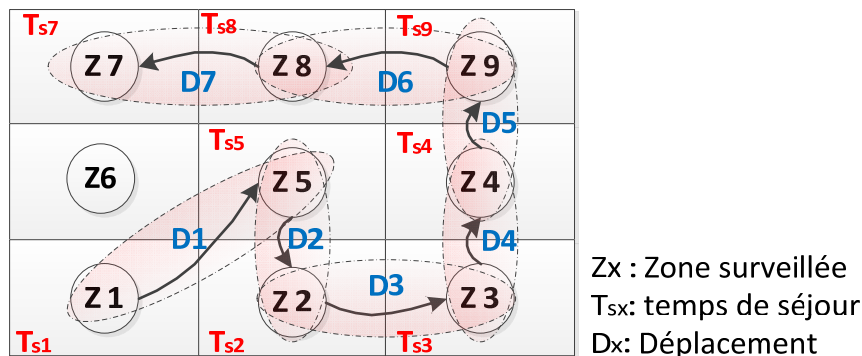
## 5.1. Notion de trajectoire-déplacement

Etant donné que l'environnement surveillé est découpé en zones (pièces), un déplacement est caractérisé par quatre paramètres :

- La zone de départ  $Z_d$ .
- Le temps de présence dans la zone de départ  $T_{s_{dx}}$ .
- La zone d'arrivée  $Z_a$ .
- Le temps de présence dans la zone d'arrivée  $T_{s_{ax}}$ .

Nous définissons une trajectoire parcourue sur une tranche horaire donnée comme une succession de déplacements, la zone de départ pour le déplacement suivant correspond à la zone d'arrivée du dernier déplacement. La Figure 21 donne un exemple de trajectoire composé de 7 déplacements ( $Dx$ ) dans un environnement surveillé découpé en 9 zones ( $Zx$ ), où  $Ts$  est le temps de présence dans chaque zone.

Ex : D1 est le déplacement entre la zone Z1 et la zone Z5 où le temps de présence dans les deux zones est respectivement  $Ts1$  et  $Ts5$ .



## 5.2. Phase 1 : Regroupement par type de déplacement

C'est une phase de prétraitement qui vise le regroupement par type de déplacement (d'un point de vue spatial). Cette étape facilite l'apprentissage en garantissant que toutes les données utilisées pour la classification non supervisée concernent le même type de déplacement : ils ont la même zone de départ et d'arrivée. Afin de réaliser ce prétraitement, nous avons employé la notion de la mesure de similarité [94] [95]. Cette notion sera utilisée pour l'analyse de trajectoires spatiotemporelles sur les scènes de la surveillance *outdoor*. Ce type de modélisation est utilisée pour la reconnaissance d'activité ou la détection d'anomalie [96]. Elle est basée sur le calcul de la distance d'éloignement entre les trajectoires (ou les séquences).

Il existe plusieurs méthodes de mesure de similarité (distance euclidienne, Hausdorff, déformation temporelle dynamique,...). On s'intéresse dans notre cas aux méthodes qui permettent de trouver l'alignement entre deux séquences (ou trajectoires), Soient  $A$ ,  $B$  deux trajectoires à 2 dimensions de longueur respective  $N$ ,  $M$  :

$$A = ((a_1^x, a_1^y), (a_2^x, a_2^y), \dots, (a_n^x, a_n^y))$$

$$B = ((b_1^x, b_1^y), (b_2^x, b_2^y), \dots, (b_m^x, b_m^y))$$

### • La distance *Euclidienne*

La distance moyenne entre deux trajectoires est calculée selon l'Équation 1 :

Équation 1

$$D(A, B) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [(a_n^x - b_n^x)^2 + (a_n^y - b_n^y)^2]^{\frac{1}{2}}$$

Cette distance peut être utilisée seulement si la longueur des deux trajectoires est la même ( $N=M$ ).

### • La distance de *Hausdorff*

Cette distance est utilisé pour calculer la similarité spatiale entre deux sous-ensembles possédant un nombre d'éléments différents [94] :

Équation 2

$$D(A, B) = \max\{d(A, B), d(B, A)\}$$

$$\text{Où } d(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$$

Cette distance n'est pas adaptée aux trajectoires parce qu'elle ne prend pas en compte l'ordre des points.

### • La distance de déformation temporelle dynamique *DTW (Dynamic Time Warping)*

C'est la comparaison entre deux trajectoires (ou séquences) de longueurs différentes qui peuvent varier au cours du temps. Cette méthode consiste à trouver la partie déformée  $W$  entre deux trajectoires qui peut minimiser la distance entre ces trajectoires. Elle est définie par la formule suivante (Équation 3) [97] :

Équation 3

$$D(A, B) = \min \left\{ \frac{1}{K} \left[ \sum_{k=1}^K w_k \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

Où  $w_k$  est le  $k$ ème élément de la partie déformée.

• **La distance LCSS (Plus longue sous-séquence commune)**

Autre méthode de mesure de similarité de trajectoires (ou séquences) de longueurs différentes, elle consiste à trouver la sous-séquence commune la plus longue entre deux séquences (d'un point de vue qualitatif ou quantitatif) [98].

Soit  $H(A)$  les premiers  $N - 1$  premiers éléments de la trajectoire  $A$  et  $H(B)$  les premiers  $M - 1$  premiers éléments de la trajectoire  $B$ . Pour  $\delta, \varepsilon$  donnés, on peut définir LCSS ( $A, B$ ) comme suit :

$$\begin{cases} 0 & \text{si } A \text{ ou } B = 0 \\ 1 + LCSS_{\delta, \varepsilon}(H(A), H(B)) & \text{si } \|a_N - b_M\| < \varepsilon \text{ et } \|N - M\| < \delta \\ \max(LCSS_{\delta, \varepsilon}(H(A), B), LCSS_{\delta, \varepsilon}(A, H(B))) & \text{sinon} \end{cases}$$

Équation 4

$$D(\varepsilon, \delta, A, B) = 1 - \frac{LCSS_{\varepsilon, \delta}(A, B)}{\min(N, M)}$$

Équation 5

La fonction de similarité entre les séquences  $A, B$ , notée  $LCSS_{\varepsilon, \delta}(A, B)$ , est définie selon l'algorithme récursif (Équation 4). Cet algorithme décrit un processus récursif initialisé, en comparant d'abord les derniers points des deux trajectoires  $A$  et  $B$ . Si au moins l'une des deux séquences est vide, la mesure de similarité est nulle et le processus s'arrête. Sinon, si les deux derniers points des deux séquences sont similaires, la mesure de similarité vaut 1 plus la similarité calculée entre les deux trajectoires privées de leur dernier point,  $H(A)$  et  $H(B)$ . Si enfin les deux derniers points des séquences  $A, B$  ne sont pas similaires, la mesure de similarité est égale au maximum de la similarité entre une séquence et l'autre privée de son dernier point,  $A$  et  $H(B)$ , et réciproquement,  $H(A)$  et  $B$ .

Le nombre de points similaires entre  $A$  et  $B$ ,  $LCSS_{\varepsilon, \delta}(A, B)$  est ensuite normalisé par la plus petite longueur des deux séquences comparées, de façon à ce que la mesure de similarité varie entre 0 et 1. La distance d'éloignement  $D(\varepsilon, \delta, A, B)$  entre les deux trajectoires  $A, B$  est définie selon Équation 5 [99].

Cette méthode est la plus adaptée à notre problématique car l'objectif est de regrouper les déplacements identiques dans l'espace, ces déplacements n'étant pas nécessairement définis par des vecteurs quantitatifs (coordonnées spatiales (x, y)). En effet, dans le but de simplifier l'algorithme et de réduire le temps de calcul, nous avons choisi de cartographier l'environnement de surveillance, en attribuant un vecteur de données qualitatif pour chaque zone (ex. zone 1 : Z1). Donc l'algorithme peut regrouper deux déplacements  $A$  et  $B$  dans la

même classe, si et seulement si la distance d'éloignement  $D$  est nulle, autrement dit  $LCSS_{\varepsilon, \delta}(A, B) = 2$  (puisque la longueur d'un déplacement est égale à 2 positions).

### 5.3. Phase 2 : Apprentissage non supervisé

Etant donné qu'un déplacement est caractérisé par le temps de présence dans les zones de départ  $T_{s_{dx}}$  et d'arrivée  $T_{s_{ax}}$ , la deuxième phase du traitement consiste à effectuer une classification non supervisée en fonction du temps de présence, pour chaque type de déplacement. Cette étape vise à apprendre le temps de déplacement habituel de la personne surveillée entre chaque zone, ce qui nous permettra par la suite de détecter si un déplacement est habituel ou pas.

L'objectif d'une classification non supervisée (*clustering*) est de classer les données (individus) dans des classes (*clusters*) sans avoir connaissance a priori de la typologie de ces données. Les études de synthèse proposées dans la littérature organisent les méthodes de classification non supervisée en trois catégories [100][101] :

#### 5.3.1. Classification hiérarchique

Le principe de la classification hiérarchique est de construire un arbre de classes (dendrogramme) en regroupant successivement les individus (données) (Figure 22). Cette catégorie de classification permet de visualiser l'organisation des données et du processus de clustering, dans la mesure où chaque niveau représente une partition des données en classes disjointes.

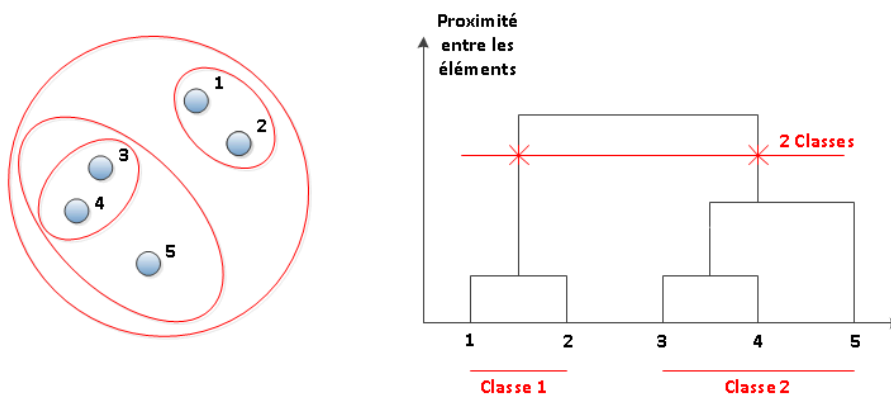


Figure 22. Exemple d'une classification hiérarchique ascendante.

Il existe deux approches de classification hiérarchique : les algorithmes agglomératifs et divisifs. Le premier type consiste à construire l'arbre d'une façon ascendante en fusionnant

l'individu avec le cluster le plus proche jusqu'à l'obtention d'une seule classe. Le deuxième type, dit descendant, applique une démarche inverse. Par division successive, il part d'une classe unique qui intègre tous les individus jusqu'à l'obtention d'un cluster contenant un seul individu. Toutefois, le processus de traitement peut être stoppé lorsque le nombre de clusters désiré est atteint ou lorsqu'un seuil de qualité est dépassé (ex : distance maximale de fusion). La Figure 23 montre un exemple d'un algorithme agglomératif (*SAHN-Sequential Agglomerative Hierarchical and Non-overlapping*) [102].

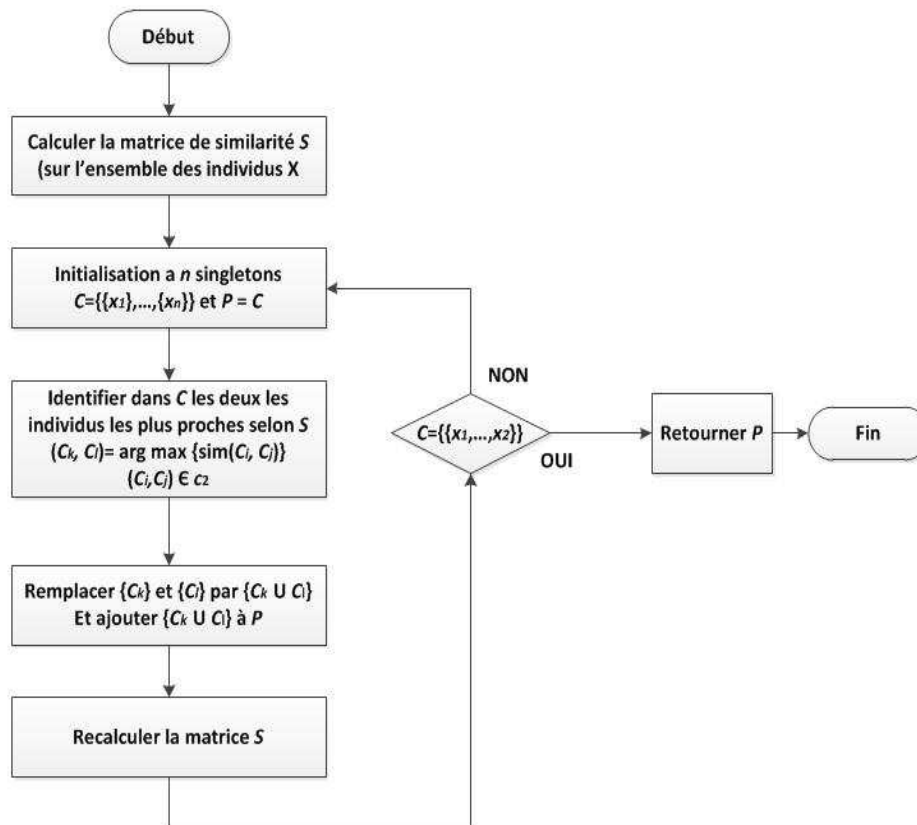


Figure 23. Algorithme hiérarchique agglomératif *SAHN*.

### 5.3.2. Classification par approches probabilistes

Ce type de classification suppose que les observations (les individus) ont été générées par un mélange de  $k$  distributions de probabilité (le nombre  $k$  correspondant au nombre de clusters), et que les individus suivent une loi normale, on parle alors d'un mélange gaussien. Le but est d'identifier les paramètres de chaque distribution (variance, moyenne, amplitude) et leur nombre  $k$ . Dans ce cas, pour estimer ces paramètres, la méthode courante est d'obtenir itérativement le maximum de vraisemblance. L'algorithme le plus connu de ce type de classification est l'algorithme Espérance-Maximisation (*EM-Expectation Maximization*) (Figure 24) [103].

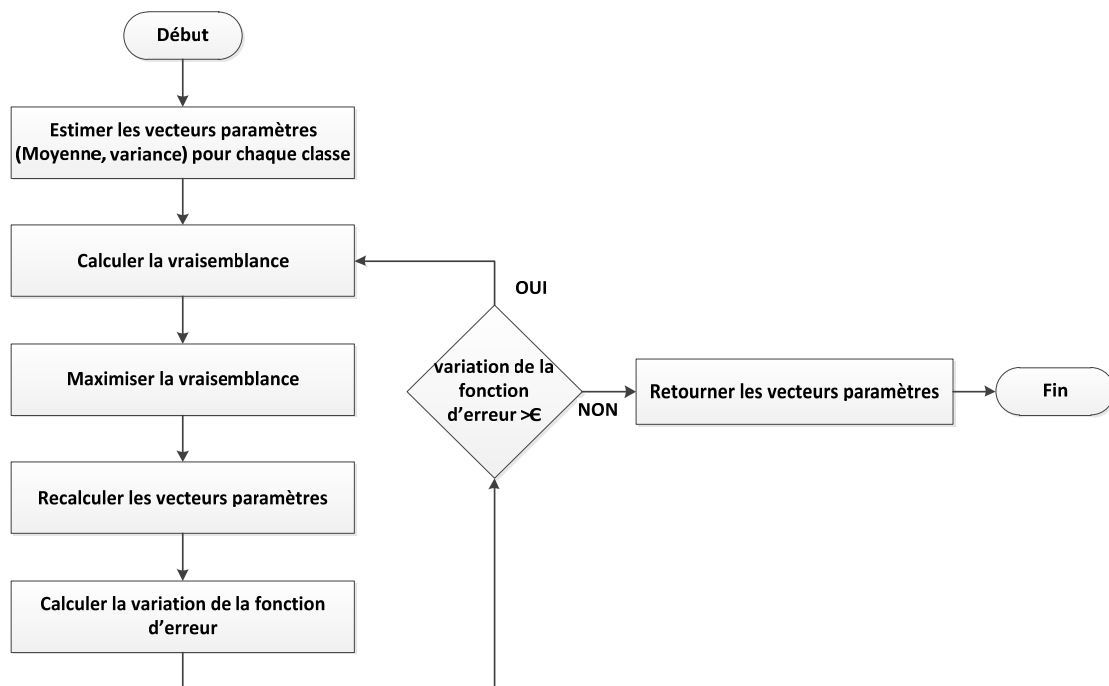


Figure 24. L'algorithme EM (Espérance-maximisation).

L'avantage de ce type de classification est que l'approche de mélange de densité est adaptée au traitement des données manquantes ou qualitatives. Cependant, les algorithmes utilisés sont relativement coûteux en temps de calcul vu le nombre élevé d'itérations nécessaires pour converger.

### 5.3.3. Classification par partitionnement

A l'inverse des méthodes précédentes, ce type de classification vise à trouver une partition de l'espace des données au lieu d'une structure de regroupement (dendrogramme de classification hiérarchique). Les méthodes de partitionnement sont les plus couramment utilisées en présence de données volumineuses de part leur temps de calcul réduit. Cependant, le principal inconvénient des algorithmes par partitionnement réside dans le choix du nombre de classe. Il faut donc comparer plusieurs schémas de *clustering* afin de retenir le partitionnement qui optimise un critère de qualité.

La méthode *K-means*, encore appelée algorithme des centres mobiles [104] représente les *clusters* par leur centre de gravité. Cet algorithme, mis au point par *McQueen* en 1967 [105], est l'un des algorithmes de *clustering* les plus connus. Le principe de cette méthode est le suivant : nous donnons pour commencer  $k$  centres arbitraires  $c_1, c_2, \dots, c_k$  où chaque  $c_i$  représente le centre d'une classe  $C_i$ . Chaque classe  $C_i$  est représentée par l'ensemble des

individus les plus proches de  $c_i$ . Après cette phase d'initialisation, nous effectuons une deuxième partition en regroupant les individus autour des  $m_j$  qui prennent alors la place des  $c_j$  ( $m_j$  est le centre de gravité de la classe  $C_j$ , calculé en utilisant les individus des nouvelles classes obtenues). Le processus est ainsi réitéré jusqu'à atteindre une configuration où aucune amélioration n'est possible. Cette méthode est convergente et surtout avantageuse du point de vue temps de calcul. L'algorithme *K-means* est représenté dans la Figure 25 [106].

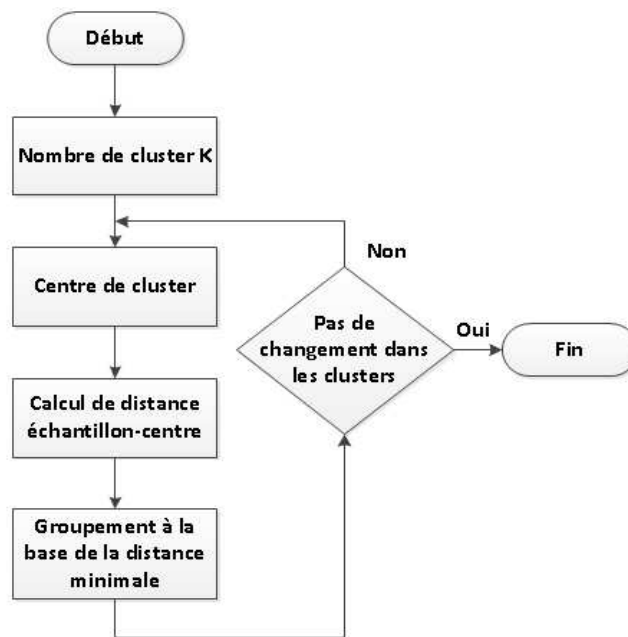


Figure 25. Algorithme *K-means*.

Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser la classification par partitionnement avec la méthode *K-means* tout d'abord car cet algorithme présente un rapport coût/efficacité avantageux, mais aussi car il permet de détecter les éléments indésirables (*outliers*), qui sont souvent des classes avec un seul ou quelques éléments. Ainsi, cette phase de traitement prend comme vecteur d'entrée (individus) les déplacements  $D (Ts_{ax1}, Ts_{dx2})$  et renvoie, en résultat, les différentes classes caractérisées par leur centre.

#### 5.4. Phase 3 : Calcul des seuils d'alertes

Nous définissons le seuil  $S_i$  d'une classe  $C_i$  comme étant la valeur à partir de laquelle on considère qu'un déplacement (individu) est inhabituel. Considérons  $\bar{x}_i$  comme étant la moyenne des distances d'éloignement euclidienne des éléments d'une classe  $C_i$  avec son centre, et  $\sigma_i$  comme étant l'écart-type de ces distances par rapport à la moyenne  $\bar{x}_i$ . Ainsi le seuil  $S_i$  est définie par l'Équation 6. Le réajustement de ce seuil s'effectue périodiquement pour intégrer toutes les nouvelles données dans le réapprentissage.



Équation 6

$$S_i = \bar{x}_i + \sigma_i$$

En mode temps réel, la distance euclidienne est calculée entre chaque nouveau déplacement et le cluster le plus proche. Si cette distance est supérieure à la valeur du seuil  $S_i$  de cette classe, alors ce déplacement est considéré comme inhabituel. Cette condition permet au système, à la fin d'une tranche horaire, d'évaluer le rapport de la déviance comportementale, notée  $R$ , entre les déplacements inhabituels et totaux (Équation 7).

Équation 7

$$R = \frac{\text{Nombre des déplacements inhabituels}}{\text{Nombre des déplacements totaux}} * 100$$

Le système compare la valeur de  $R$  par rapport à la moyenne de l'historique des 30 derniers jours. Ceci permet de détecter si la personne surveillée a un comportement suspect (déambulation, etc.). Si tel est le cas, un avertissement (*warning*) est généré pour signaler cette information au personnel médical ou à la famille.

## 6. Conclusion

Nous avons décrit dans ce chapitre la démarche de conception/prototypage du système *Homecare* : Nous avons présenté une description fonctionnelle du dispositif selon le formalisme *SysML*. Par la suite, nous avons détaillé nos choix matériels et logiciels permettant sa mise en œuvre, en veillant à proposer des solutions technologiques indépendantes de l'environnement surveillé et respectueuses de l'intimité des personnes. *Homecare* est conçu pour être déployé à domicile comme en Institution : le système tolère une certaine flexibilité sur les fonctionnalités proposées en fonction des usages, et dans la limite des informations que l'on peut tirer des données collectées.

L'algorithme de diagnostic proposé vise à détecter un comportement suspect à partir de l'apprentissage de la distribution du temps de présence entre toutes les zones surveillées. Les alertes résultent alors de la mesure d'un écart important entre le temps passé en moyenne dans une localisation donnée et le délai mesuré en temps réel. Ainsi, le système ne devient opérationnel, pour le diagnostic, qu'après une période d'apprentissage. Cette période doit être suffisamment longue pour qu'elle englobe tous les déplacements habituels de la personne afin d'optimiser les performances du système.

Dans le chapitre 3, nous allons aborder une autre approche du suivi des patients au travers des déplacements : nous proposerons un modèle personnalisé auto-adaptatif pour la détection des cas d'errance (en intérieur) et de déambulation (en extérieur) chez les personnes fragiles. Cette approche est à considérer comme une solution complémentaire, car elle vise à sécuriser d'avantage la personne dans son environnement extérieur.

Dans le chapitre 4, nous allons décrire le deuxième volet du cycle du développement de *Homecare*, à savoir le déploiement du système en situation réelle ainsi que les résultats des tests techniques dans le cadre d'une évaluation.



**Chapitre 3**  
**Une modélisation auto-adaptative pour la détection de la déambulation et  
l'errance**



## 1. Introduction

Nous avons présenté dans le chapitre précédent la conception du Système *Homecare* : un système complet qui vise la surveillance et le maintien des personnes âgées à domicile ou en institution. *Homecare* prévoit de suivre le déplacement des patients dans leur domicile mais également de détecter les fugues, lorsque la personne sort d'un périmètre limité aux abords immédiats de l'Habitat (détection via les balises *RF*). La question reste donc posée de la surveillance de patients encore valides qui sont amenés à se déplacer à l'extérieur de l'habitat avec des risques d'errances.

Dans ce chapitre, nous présentons une approche développée dans le cadre d'un projet nommé *BéA* « Bracelet Electronique d'Autonomie », conduit par la société *Atos Origin* et qui s'inscrit dans une parfaite complémentarité avec les travaux menés sur *Homecare*. Le projet implique une instrumentation plus élaborée du patient pour permettre une localisation rapide et la définition d'un périmètre sécurisé important. L'objectif réside dans la détection des cas d'errances et de déambulations qui peuvent toucher des personnes à risques à l'extérieur et à l'intérieur. Nous détaillons ici l'architecture système mise en place ainsi que l'algorithme auto-adaptatif utilisé pour la détection de ces cas d'urgence.

A plus long terme, les deux systèmes (*Homecare* et *BéA*) doivent pouvoir intégrer une solution unique utilisable pour l'intérieur et l'extérieur de l'Habitat. De ce fait, les concepts de surveillance sont basés sur les mêmes principes de diagnostic entre le comportement habituel et le comportement courant. La démarche de conception est aussi très proche de celle appliquée sur *Homecare* et décrite dans le chapitre 2.

## 2. La problématique de surveillance *Outdoor*

Notre travail s'inscrit dans le cadre du projet *BéA*, un projet industriel, initié par la société *Atos Origin*, qui vise à concevoir un instrument innovant de repérage géographique porté par des patients (convalescents, personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, personnes handicapées...). Cet instrument communicant anticipe et détecte les situations critiques potentiellement catastrophiques que peuvent subir les personnes âgées dépendantes dans leur milieu de vie (déambulation, errance,...). Ce dispositif est intégré dans une montre-bracelet portée au poignet dont la conception et la réalisation technique ont bénéficié des travaux conduits dans une première étude (version V1) [107]. L'étude de la version V2 vise, avant

tout, l'innovation fonctionnelle dont fait partie notre travail, les problématiques d'intégration et de miniaturisation seront abordées dans une future étude (version V3). Le développement de ce dispositif est validé en deux étapes de démonstrations :

- Une étape conduite en laboratoire (LAAS-CNRS) avec l'objectif de valider techniquement l'architecture et les fonctions système.
- Une étape conduite en maison de retraite pour estimer le niveau d'acceptabilité du système technique et ses conditions d'usage.

La conception du « bracelet » (Figure 26) était à la charge de nos partenaires industriels (société *DREAMAP*), notre contribution étant essentiellement centrée sur la mise en œuvre d'une architecture logicielle de surveillance avec pour ambition la définition automatique et auto-adaptative du périmètre sécurisé. Afin de mener notre travail en parallèle avec les travaux de *BéA* version *V1*, nous avons utilisé pendant les tests un téléphone équipé de la même technologie que celle de la montre bracelet (*GSM/3G*, *GPS*).

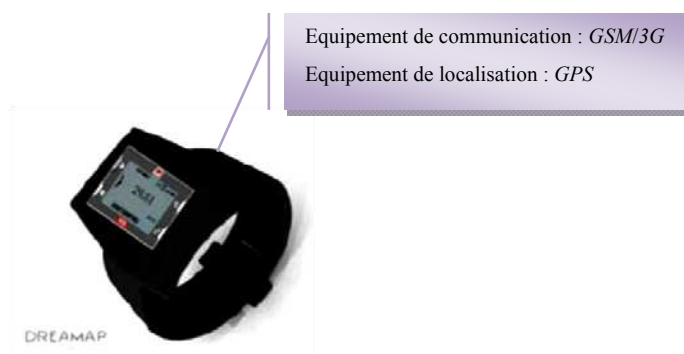


Figure 26. Montre-bracelet *BéA* (version *V1*) vue par le partenaire industriel *DREAMAP*.

### 3. Architecture logique

Le bracelet électronique, porté par la personne dépendante, détecte des situations critiques et émet des alarmes vers un Centre d'Assistance Médicalisé joignable 24h/7j. En fonction des protocoles opérationnels définis, les aidants (famille, service d'aide à domicile, voisins), ou les services professionnels de gestion de l'urgence (SAMU, Pompiers, Police) sont avertis afin de traiter au plus tôt la situation critique.

Les situations critiques sont diverses et fonction du type de dépendance, du stade d'avancement de la maladie, de l'environnement humain (aidant familial, assistance à domicile, assistance en institution...), et de l'environnement géographique (maison en campagne, appartement en ville, institution médicalisée ou non...). Du point de vue de la

sécurité des personnes, il faut surveiller à la fois les lieux de vie et les trajets entre ces lieux. L'ambition dans cette partie du travail est de concevoir et réaliser un système capable d'assurer toutes ces fonctions de sécurité : deux scénarios ont été explorés en parallèle, chacun apportant une solution pour un ensemble défini de cas pouvant finalement converger vers une solution unique générique :

1. La détection des situations critiques en intérieur : on cible ici une population de personnes dépendantes passant du temps à domicile ou en institution avec des aidants. Le système doit permettre de mieux sécuriser le lieu et de fournir un soutien aux aidants. Ce système devrait notamment pouvoir détecter qu'une personne accède à un endroit désigné comme « interdit » ou tente de fuguer.
2. La détection de situations critiques liées à des déplacements quotidiens en extérieur. On cible ici une population de personnes physiquement autonomes. Le système doit libérer la personne et ses proches de l'angoisse liée à la peur de se perdre. Ce système doit alors pouvoir détecter les déplacements assimilables à de l'errance et détecter les trajets non routiniers.

L'architecture système de *BéA* que nous avons développée comprend un serveur central qui collecte toutes les données de tous les patients, une interface opérateur et un système d'alertes générées grâce à un algorithme de fusion et de diagnostic. Ces alertes doivent être communiquées en urgence 1 (niveau prioritaire défini selon le protocole opérationnel d'intervention) aux personnels de surveillance accompagnées de commentaires automatiquement générés par le système. Ces alertes sont communiquées en urgence 2 (sous contrôle des personnels de surveillance) au Médecin traitant pour que s'organisent les soins nécessaires. Cette série d'interventions donne lieu à la création d'un dossier informatique consigné dans une base de données spécifique. L'ensemble associe donc :

- 1) Un dispositif porté qui aura deux fonctions de base :
  - L'identification du patient qui accompagne systématiquement les échanges de messages avec le poste central,
  - La localisation qui doit fournir les coordonnées géographiques.
- 2) Le serveur central qui réalise les fonctions suivantes :
  - La collecte des données émises par les systèmes portés et la constitution d'une base de données en temps réel,
  - La création et l'actualisation permanente d'une base de données historiques que nous traitons sous la forme d'un modèle sécuritaire appelé « modèle de marche auto-



adaptatif » : ce modèle décrit les localisations et les itinéraires habituels en fonction des horaires à partir desquels le système gère les fonctions de détection et de diagnostic. Pour l'essentiel, il s'agit, de manière auto-adaptative, de fixer les « seuils » au delà desquels le système central considère qu'il y a « danger » puis « alarme », si le danger persiste.

### 3.1. Les cas d'utilisation

Le dispositif porté est placé sur le patient en présence du personnel soignant ou la famille qui contrôle sa mise en route. Il est porté 24h/24. Les exigences d'usage sont :

- Dans la chambre : l'identification et la localisation font l'objet d'un suivi permanent, éventuellement complété par des données physiologiques. Les mesures doivent être relativement précises notamment aux trois endroits très sensibles que sont le lit, les toilettes et la porte d'entrée, où se situent les cas les plus fréquents d'incidents. Les précisions de localisation doivent alors être inférieures au mètre. Ce cas d'usage ne sera cependant pas traité dans le manuscrit puisqu'il a fait l'objet d'un travail en parallèle<sup>9</sup>.
- Dans l'habitation, les niveaux de précision peuvent se limiter à l'identification de la pièce où se trouve le patient.
- En dehors de l'habitation, l'espace que doit pouvoir couvrir le dispositif est important : dans la plupart des cas, des localisations avec des précisions de l'ordre de 5 à 10 mètres près seront suffisantes pour organiser une intervention ou pour évaluer le risque encouru par le patient (détection de la sortie des zones sécurisées, changement de rue ou de trottoir,...).

### 3.2. L'exploitation des données

Le fonctionnement du système est complètement transparent pour le patient. Sont dans la boucle d'information et d'intervention :

- Le personnel chargé de la surveillance : il reçoit instantanément les sorties diagnostiquées et peut télécharger quelques données complémentaires sur l'historique récent. Il gère la situation, acquitte qu'il a été informé, visite le patient, alerte les niveaux supérieurs d'intervention, commente ses interventions...

---

<sup>9</sup> Le bracelet vise aussi à suivre les paramètres physiologiques du porteur. Ce volet n'est pas décrit dans ce manuscrit dans la mesure où ce travail a été mené par une équipe du laboratoire IRIT (partenaire du projet).

- Le Médecin de veille (ou les services d'intervention extérieurs) : il reçoit l'information d'alarme sous contrôle du personnel de surveillance, il a accès au dossier médical du patient et au dossier de son historique récent, il gère la situation.

#### 4. Architecture physique de *BéA*

On devine, face à ces exigences relativement diverses, que les choix techniques ne peuvent pas être uniques ce qui autorise d'associer différentes approches complémentaires. Notre démarche de laboratoire est marquée par l'histoire qui a voulu que le sujet se développe à partir de la surveillance en chambre unique [6], puis dans l'appartement [11], puis en institution, le système le plus abouti étant décrit au chapitre 2 (*Homecare*). On voit que l'idée d'une surveillance à la fois en intérieur et en extérieur oblige à envisager des dispositifs nouveaux de localisation. Le cahier des charges de *BéA* a incité le consortium à choisir des combinaisons de différents capteurs de localisation (*GPS*, *Wi-Fi*), les opérations de fusion devant s'opérer de manière automatique.

Le système est donc configuré pour surveiller les deux environnements (intérieur et extérieur).

La personne doit être localisée « sans interruption » dans ces zones à travers deux scénarios :

- Scénario intérieur : En règle générale, dans cette situation, le signal *GPS* est faible ou nul. Donc, la personne doit pouvoir être localisée par un autre réseau de communication. Un réseau de balises *Wi-Fi* a ainsi été déployé dans l'environnement intérieur. Pour ce faire, nous utilisons "*NAO Campus*", une solution mise en place par la société *Pole Star* [108]. Cette solution est basée sur la localisation des personnes via une connexion *Wi-Fi*, en exploitant la puissance du signal transmis par le réseau déployé. Le but de cette surveillance est de détecter si la personne tente d'accéder à des zones définies comme interdites (ou inhabituelles) dans le cas d'une institution, ou si elle tente de quitter son domicile pendant la période nocturne.
- Scénario extérieur : Dans cet environnement, la personne sera localisée avec la technologie *GPS* embarquée sur le bracelet-montre. Un périmètre sécurisé sera défini par les algorithmes de surveillance : si la personne est localisée en dehors des zones de circulation habituelles dites zones de *Geofencing*<sup>10</sup>, elle sera considérée par le système comme une personne errante

---

<sup>10</sup> Zone de *Geofencing* : c'est un périmètre de sécurité défini autour d'un ou plusieurs lieux de vie. Ce périmètre peut correspondre à un espace de vie ou au quartier autour du domicile de la personne, ou encore à un trajet que la personne a l'habitude d'effectuer.

Dans les deux cas, l'historique des données de localisation est transmis au serveur de données une fois par jour, via le réseau téléphonique 3G, et les « seuils d'alerte corrigés par auto-apprentissage » sont renvoyés vers le dispositif portable (téléphone). Dans le cas de la détection d'un état critique, un message d'alerte est envoyé directement à la Plateforme d'Assistance Médicalisée (PAM) via le réseau GSM du téléphone. Il contient l'emplacement géographique de la personne afin que le personnel en charge de la surveillance puisse intervenir rapidement. La Figure 27 illustre l'architecture matérielle globale choisie pour le système *BéA*.

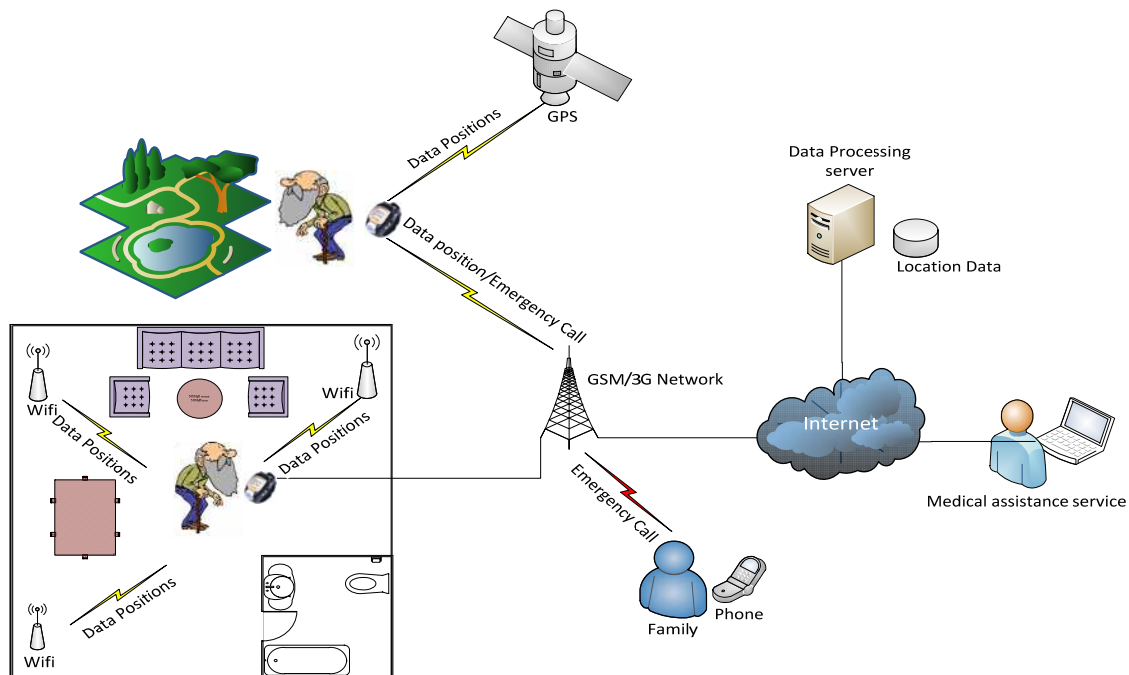


Figure 27. Architecture matérielle de *BéA*.

## 5. Architecture logicielle

L'architecture logicielle se décompose en deux sous-ensembles distincts (instrument porté et serveur de données) comme le montre la Figure 28. Les échanges entre ces deux sous-ensembles sont organisés via les modules de communication embarqués. Selon un protocole mis en place, ces échanges se font de deux façons :

- Périodique : concernant les informations de localisation du porteur de l'instrument qui permettent d'enrichir la base de données installée sur le serveur.
- Eventuelle : dans le cas d'une alerte provenant du dispositif porté (téléphone), le module de communication du serveur achemine cette alerte directement à la PAM (plateforme d'assistance médicalisée). Cette plateforme est dédiée à l'organisation de l'intervention suivant le niveau d'urgence.

Du côté serveur, le module interface permet d'organiser les échanges entre la base et les autres modules (communication et moteur de calcul). Cela consiste à établir les requêtes nécessaires et convertir les fichiers des données au format approprié (du format CSV à SQL) afin de les charger ou de les extraire de la base. Le moteur de calcul, qui embarque l'algorithme d'apprentissage (dont nous détaillerons le principe dans le paragraphe suivant), récupère ces données dans le but de les traiter et de renvoyer les résultats vers le module de diagnostic embarqué sur le téléphone.

Le module d'acquisition gère la commutation entre les réseaux utilisés pour la localisation : il active le GPS uniquement en l'absence de réseau Wi-Fi afin d'optimiser la consommation d'énergie. Ce module est capable d'acquérir à chaque instant  $t$  ( $t$  dépend de la situation d'usage : de 0,5s à 5s), la position du porteur du dispositif et d'enregistrer les informations sous forme de fichiers exploitables.

Le module de diagnostic (*Geofencing Module*) est le composant principal du logiciel embarqué. Il reçoit les seuils, sous forme d'une liste de périmètres géographiques, provenant du moteur de calcul. En temps réel, les positions courantes du porteur du dispositif sont vérifiées avec ces seuils pour lever l'alerte en cas de dépassement.

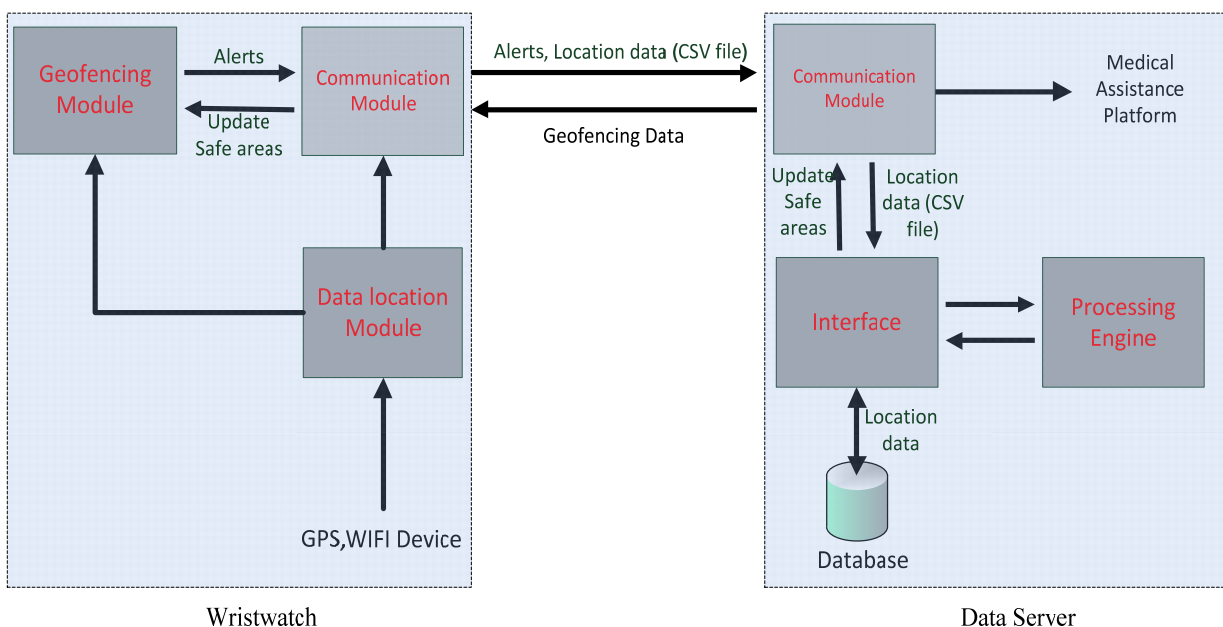


Figure 28. Architecture logicielle de BÉA.

## 6. Proposition d'une solution de détection d'errance auto-adaptative (Modèle personnalisé)

Etant donné que l'objectif dans ce chapitre est de proposer une solution pour la détection des cas de déambulation (en *indoor*) et d'errance (en *outdoor*) chez les personnes à risque, notre approche est basée sur l'utilisation de méthodes d'apprentissage (issues du concept *Prosafe*). Le principe de cette surveillance est d'identifier les zones de *Geofencing*, lors d'une phase dite d'apprentissage. Sur cette base des données recueillies, un modèle est construit, considéré comme une référence, et qui permet de détecter, par la suite, toute sortie de zone. L'avantage d'une telle solution est que, non seulement, elle est personnalisée aux habitudes de déplacement de la personne mais elle est aussi auto-adaptative, dans la mesure où le modèle est soumis à un réapprentissage périodique, ou en cas d'alerte pour qu'il puisse suivre les changements de ces habitudes.

Avant de présenter le processus de traitement mis en œuvre, il est nécessaire de définir ce que nous entendons par déambulation (*indoor*) et errance (*outdoor*) d'un point de vue technique (système de surveillance). Nous considérons qu'une personne déambule lorsqu'elle est localisée dans une zone désignée comme interdite (habituellement non-accessible par cette personne). On prend comme exemple, une personne vivant seule (à domicile ou en institution) qui tente de quitter son habitat de vie pendant la nuit. Avec le même état d'esprit, nous considérerons qu'une personne est errante (*outdoor*) si elle est localisée hors de ses propres zones de *Geofencing*.

Le processus de traitement des données de déplacement est effectué en deux phases : une phase d'apprentissage et une phase de diagnostic.

### 6.1. Phase d'apprentissage

La phase d'apprentissage est assurée par le moteur de calcul embarqué sur le serveur. En effet, ce module est connecté à la base de données à travers le module d'interface, ce qui lui permet de récupérer les données de déplacement périodiquement afin d'établir le modèle. Nous allons détailler cette phase selon l'algorithme suivant (Figure 29) :

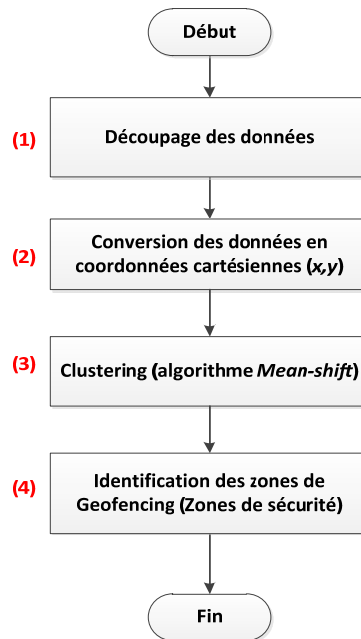


Figure 29. Algorithme d'apprentissage

### 6.1.1. Découpage des données (1)

Dans le but d'optimiser l'efficacité de détection de notre algorithme, nous avons choisi de récupérer ces données par tranche horaire et par environnement de surveillance. Ce découpage a l'avantage de filtrer les fausses détections liées aux changements de comportement de déplacement notamment entre les jours de semaine et la fin de semaine, entre le jour et la nuit, ou entre l'intérieur et l'extérieur. Le découpage, présenté dans la Figure 30, a été choisi par expérience et répond à nos exigences de surveillance.

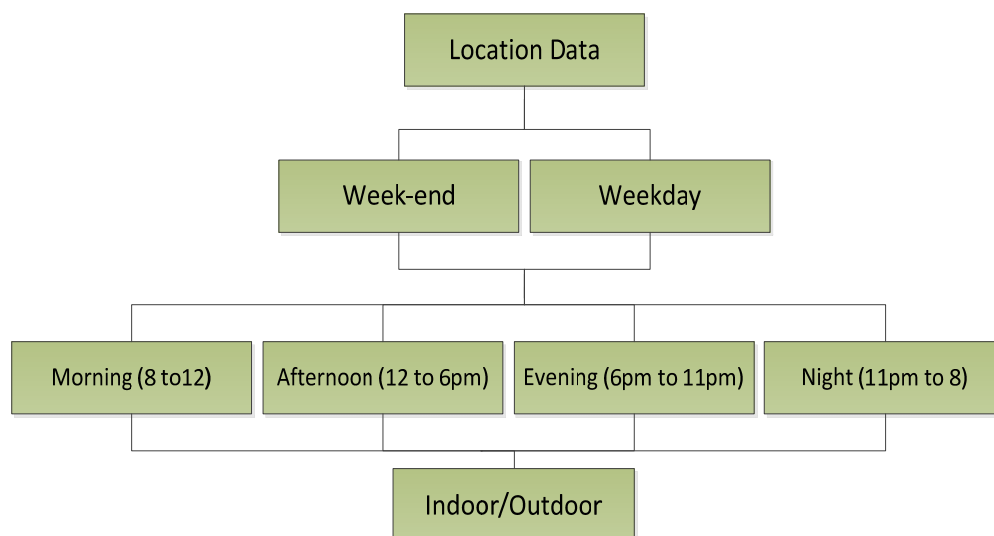


Figure 30. Découpage utilisé pour le traitement.

### 6.1.2. Conversion en coordonnées cartésiennes (2)

Dans un second temps, une conversion des coordonnées est nécessaire. En effet, les données récupérées sont représentées en coordonnées géographiques (longitude, latitude), ce format étant imposé par la trame *NMEA*<sup>11</sup> envoyée par le *GPS* embarqué. La solution de la localisation indoor par Wi-Fi (*NAO Campus*) mise en œuvre par la société *Pole Star* fournit également les points de localisation dans ce format. Cela facilite la sauvegarde des données dans la base. Lors de chaque traitement, ces données sont converties vers le système cartésien (x, y) dont les coordonnées sont définies en mètre selon la projection cartographique Lambert 2 étendue (projection utilisée en France) [109].

### 6.1.3. Classification par l'algorithme Mean-shift (Clustering) (3)

A partir des définitions techniques de l'errance et de la déambulation présentées préalablement, nous avons choisi d'utiliser une méthode de classification par répartition dans le but de réduire les nuages des points de localisation à des classes typiques (zone de *Geofencing*). Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé l'algorithme de *clustering* appelé *Mean-shift*.

Cette méthode, mise au point par *Fakunaga* et *Hostetler* [110] en 1975, est une technique itérative, non paramétrique, donc elle ne nécessite pas de connaissance préalable du nombre de classes (*cluster*). Elle est basée sur l'estimation du gradient de la densité par noyau [111]. Le principe de base de cet algorithme est de faire converger un point vers le maximum local le plus proche. Il est appliqué principalement pour le traitement d'images [112] [113], le suivi des objets [114] et la fusion de données [99].

Considérons un jeu de données  $S$  avec  $n$  données  $x_i$  dans l'espace euclidien  $X$  de dimension  $d$ . Notons  $K(x)$  la fonction noyau qui indique combien  $x$  contribue à l'estimation de la moyenne. Alors la moyenne  $m$  à  $x$  avec le noyau  $K$  est donnée par l'équation suivante :

$$\text{Équation 8}$$

$$m(x) = \frac{\sum_{i=1}^n k(x - x_i)x_i}{\sum_{i=1}^n k(x - x_i)}$$

---

<sup>11</sup> La norme NMEA 0183 « National Marine Electronics Association » : c'est une norme qui spécifie la communication entre les équipements GPS.

La différence  $m(x)-x$  est appelée *mean-shift*.

Typiquement, le noyau  $K$  est une fonction de  $\|x\|^2$  :

Équation 9

$$K(x) = k(\|x\|^2)$$

$k$  est appelé profil de  $K$  et est une fonction :

- Non négative,
- Non incrémentale :  $k(x) \geq k(y)$  Si  $x < y$ ,
- Affine par morceau et :

Équation 10

$$\int_0^{\infty} k(x) dx < \infty$$

Le plus simple noyau (*Flat kernel*) est défini par l'équation suivante :

Équation 11

$$K(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } \|x\| \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

La fonction de l'estimation de la densité par noyau est définie (par la technique de la fenêtre de *Parzen*) [111] par l'équation suivante :

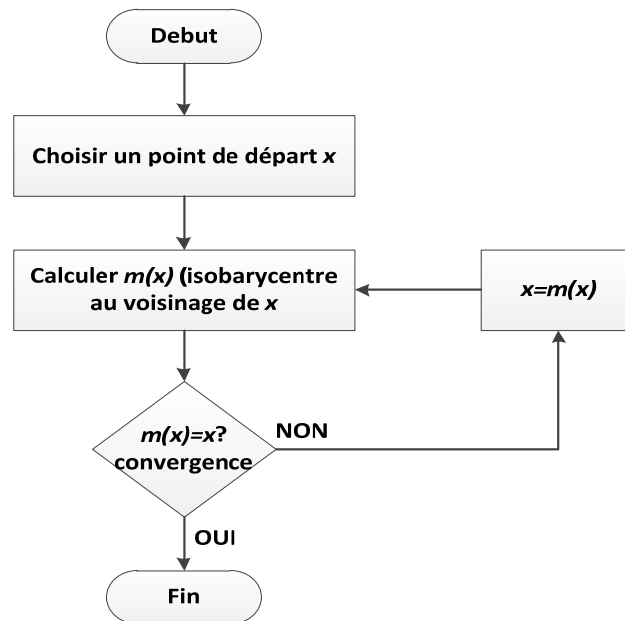
Équation 12

$$\hat{f}_K(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n \left[ K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \right]$$

Avec  $h$  (le paramètre largeur de la fenêtre) définissant le rayon du noyau.

L'algorithme (Figure 31) consiste à choisir un point départ  $x$ . Ensuite, on cherche l'ensemble de points qui est au voisinage de  $x$  selon le rayon  $h$  et le calcul de  $m(x)$ . On déplace alors  $x$  vers  $m(x)$  et on recalcule  $m(x)$  itérativement jusqu'à ce que l'algorithme converge ( $m(x)=x$ ). Dans notre cas, le paramètre  $h$  doit être choisi en fonction de l'environnement de surveillance, ex : en environnement intérieur  $h \leq 2$  mètres (cette valeur est choisie par expérience). A chaque étape de convergence, l'algorithme crée une nouvelle classe  $C_i (x_i, y_i)$ . La classification est arrêtée si toutes les données sont classées.



Figure 31. Algorithme *Mean-shift*.

#### 6.1.4. Identification des zones de *Geofencing* (4)

La Figure 32 montre un exemple de classification. Les classes générées  $C_i (x_i, y_i)$  représentent les zones de sécurité (zones de *Geofencing*). Elles sont géographiquement adjacentes. Pour identifier leurs périmètres, l'idée consiste à calculer le rayon noté  $r_i$  pour chaque classe. Ce rayon est défini comme étant la distance entre le centre de la classe  $C_i (x_i, y_i)$  et l'élément le plus éloigné de cette même classe.

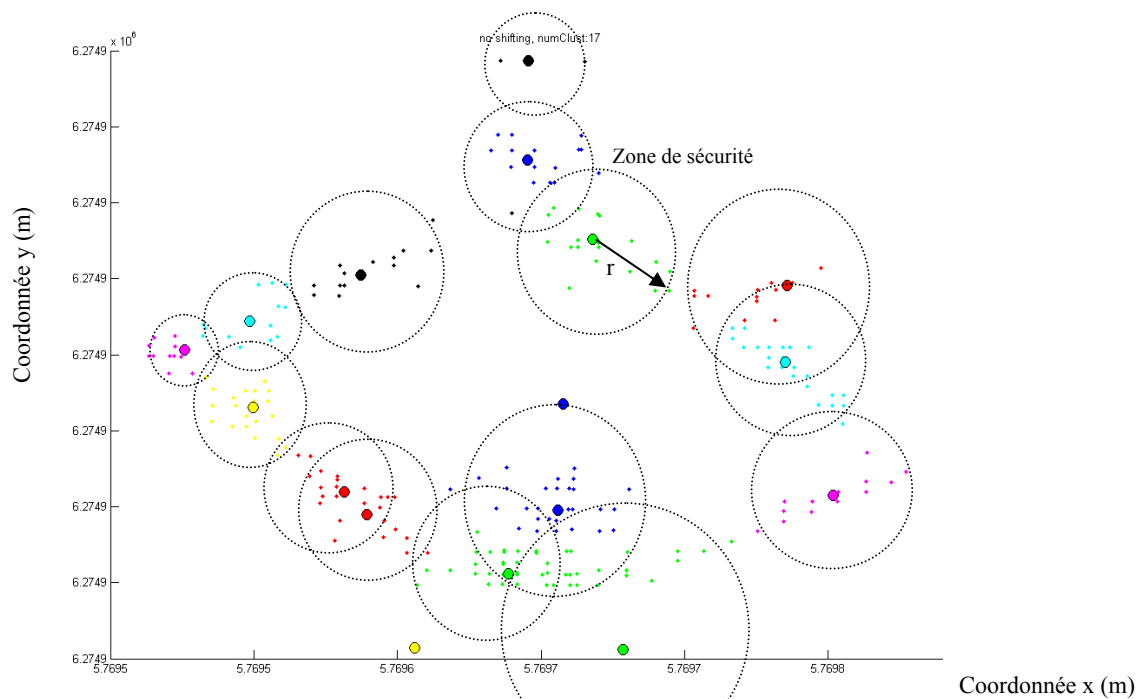


Figure 32. Exemple de classification.

## 6.2. Phase de diagnostic

Le modèle est établi sur la base des données des 30 derniers jours. Cette période est jugée suffisante pour que le modèle soit personnalisé selon les déplacements de la personne. Les résultats de la classification (les centres de zones  $C_i(x_i, y_i)$  et leurs rayons  $r_i$ ) correspondants à chaque tranche horaire sont renvoyés périodiquement vers le module de *Geofencing* embarqué sur le dispositif. En mode temps réel, ce module calcule la distance entre la position courante et le centre de la zone la plus proche. Une alerte est générée si et seulement si cette distance est supérieure au rayon  $r$  de cette zone. Dans ce cas, un réajustement du modèle est nécessaire afin de lui permettre de s'adapter aux nouvelles données. Cela permettra d'éviter les fausses détections. La Figure 33 montre un schéma fonctionnel du traitement.

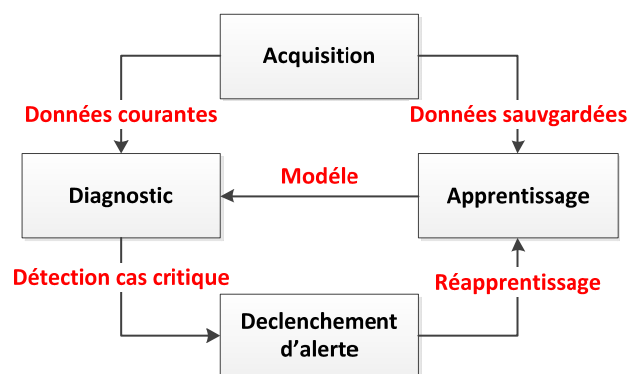


Figure 33. Schéma fonctionnel du traitement.

## 7. Conclusion

Ce chapitre complète notre travail de conception consacré aux systèmes de surveillance des personnes âgées ou dépendantes. Le chapitre 2 présentait un premier système *Homecare* destiné à la surveillance essentiellement « *indoor* ». Dans ce chapitre, nous avons posé le problème de la continuité de la surveillance entre « *indoor* » et « *outdoor* », et montré comment nous l'avons abordé dans le cadre du projet *BéA* via l'utilisation d'un bracelet porté. La nouveauté tient à l'usage combiné des technologies *Wi-Fi* et *GPS* pour assurer la transition « *indoor* » vers « *outdoor* ».

Notre contribution dans le contexte du projet *BéA*, a surtout porté sur la définition du périmètre de sécurité, avec l'ambition à terme de pouvoir étendre, à l'extérieur, la surveillance et la sécurisation des personnes âgées fragiles mais également leur donner plus d'autonomie en exploitant des technologies de localisation différentes de celles précédemment envisagées dans le système *Homecare*.

Nous nous sommes donc attachés à la proposition d'une approche auto-adaptative pour la détection de la déambulation et l'errance et sa mise en œuvre dans une architecture système adaptée : la solution proposée dans ce chapitre reste complémentaire aux fonctionnalités proposées dans *Homecare*, dans la mesure où le concept est le même (collecte, apprentissage, détection, réapprentissage).

Dans le chapitre 4, nous allons présenter les résultats des expérimentations des deux projets (*Homecare* et *BéA*) sous forme de validations techniques et cliniques.

**Chapitre 4**  
**Validation de concept : expérimentations et évaluation**



## 1. Introduction

Nous avons présenté dans les chapitres précédents les objectifs, le principe de fonctionnement et la conception de deux contributions techniques à la problématique de surveillance des personnes âgées. Le projet *BéA* est surtout centré sur la détection de l'errance à proximité du domicile avec une volonté de lier la surveillance *indoor* et *outdoor*. Le système *Homecare* vise la définition d'un système complet de surveillance, en présence de plusieurs patients susceptibles de se déplacer soit dans leur chambre lorsqu'elles sont en institution, soit dans leur habitat et dans la proximité immédiate. Nous avons décrit leurs architectures matérielles et logicielles respectives et mis l'accent sur les algorithmes auto-adaptatifs embarqués sur ces architectures système. Ces processus de surveillance arrivent progressivement à maturité et sont l'objet de premières propositions qu'il s'agisse de bracelets portés par les patients à l'image de *BéA*, ou de surveillance *indoor* par instrumentation de habitat à l'image de *Homecare*.

Dans ce chapitre, nous présenterons les premiers résultats de validation du système *Homecare*. Nous souhaitons franchir une étape de progrès en passant de l'expérimentation en laboratoire, à une expérimentation en situation réelle, sur site protégé, en l'accompagnant d'analyses spécialisées pour ouvrir vers des perspectives de diffusion. Ces expérimentations ont été conduites suivant deux étapes complémentaires :

- Des tests en situation réelle du système *Homecare*, dont nous présenterons et discuterons les résultats obtenus.
- Des tests en laboratoire (*BéA*) appliquant la procédure de validation technique proposée dans le chapitre 2.

Finalement, nous ferons un bilan du retour complet de l'expérimentation. Ce retour a permis de réaliser une évaluation clinique globale et d'apprécier l'intérêt de *Homecare* à la fois pour les familles et les professionnels de santé. Sur ces bases techniques et cliniques, nous concluons ce chapitre sur une proposition d'un modèle économique qui définit les options offertes, aujourd'hui, pour le déploiement de ce type de systèmes.

## 2. Déploiement en situation réelle de *Homecare*

### 2.1. Plan d'installation du réseau de capteurs

Nous avons installé *Homecare*, selon l'architecture système déjà décrite dans le chapitre 2 (Figure 14), à l'Hôpital de Caussade, au sein de l'unité Alzheimer. Le système a été déployé dans 2 chambres, le couloir, la salle de vie et le jardin, comme le montre la Figure 34. Cependant, compte tenu des difficultés rencontrées dans le recrutement de patients participants, nous avons mené l'expérimentation sur une seule chambre à la fois. Le système complet s'organise suivant trois zones de surveillance que nous détaillons ci-après.

#### 2.1.1. Surveillance dans les chambres

Les chambres ont été équipées de plusieurs capteurs de présence *IR* permettant de suivre les déplacements (lit, fenêtre, toilettes...). La surveillance associe ces détecteurs de présence *IR* à des balises *RF*, selon l'algorithme de localisation présenté au chapitre 2. Cette fusion permet d'obtenir une précision d'environ 2m. Un capteur de pression a également été glissé sous le matelas du patient afin d'obtenir des informations sur les lever/coucher du patient pendant la nuit.

Dans cette configuration, cette installation ne permet pas d'identifier le patient, porteur d'un *Tag*, lorsque ce dernier est en présence d'autres personnes. Ainsi, le système identifie davantage la pièce dans laquelle se situe la personne mais permettra une surveillance efficace de cette dernière durant les périodes d'isolement naturel comme par exemple la nuit. On peut aussi, dans ces périodes, accéder à des informations de caractérisation utiles comme par exemple : les insomnies, les agitations nocturnes, le somnambulisme. Nous allons présenter, dans ce chapitre, quelques exemples de ces informations, avec leurs méthodes d'identification et de mesure (déviation du comportement, agitation nocturne sur le lit, immobilité prolongée dans la salle de bain, activité nocturne du patient...).

#### 2.1.2. Surveillance dans les zones communes

Nous utilisons uniquement les balises *RF* (en raison de l'inconvénient d'identifier, avec les capteurs *IR*, le patient en présence d'autres personnes). Dans ce cas, la précision de la localisation (quelques mètres) nous permet juste d'identifier la personne dans une pièce ou une partie de la pièce (le cas du couloir). Le but de cette surveillance est de détecter la

déviations de comportement caractérisées par le temps de présence dans chaque pièce, dont nous avons défini l'intérêt au chapitre 2.

### 2.1.3. Surveillance du taux d'activités de groupe

Ce cas d'utilisation nous a été suggéré par le personnel soignant de l'hôpital. L'idée était de faire le lien entre l'activité globale du groupe et les comportements individuels sur la base d'observations qui tendraient à montrer que l'agitation de groupe augmente les risques individuels d'incidents ou d'accidents.

Les capteurs IR, étant par principe sensibles aux mouvements des personnes, il était intéressant de voir s'il était possible de suivre l'activité du groupe de patients voire de tout le service.

Ces capteurs IR, judicieusement positionnés permettent d'identifier les périodes de forte activité que l'on pourra rapprocher des changements du comportement des patients. L'intérêt opérationnel est important dans la mesure où l'on peut imaginer comme conséquence que, dans ces périodes détectées de fortes activités collectives, du personnel médical supplémentaire soit affecté au service afin de prévenir les incidents que pourraient subir ces patients (chute, tentation de fugue, déambulation...).

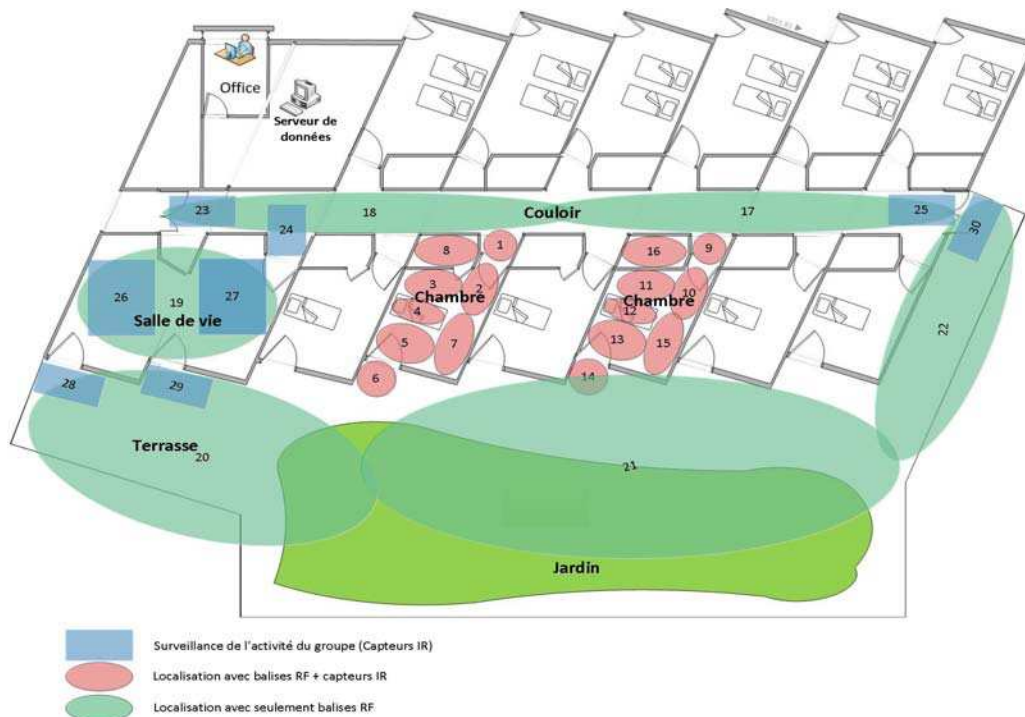


Figure 34. Plan de déploiement de Homecare.



## 2.2. Interfaces de visualisation et de gestion

Nous avons développé pour le personnel du service médical, deux interfaces qui permettent la visualisation et la gestion du système *Homecare*.

### 2.2.1. Application temps réel

C'est une interface Homme-Machine « IHM » technique qui permet de gérer la connexion au réseau de capteurs. Le système collecte et sauvegarde les données dans une base de données locale. Cette IHM offre au personnel en service la possibilité de suivre, sur un écran les déplacements des patients en temps réel, grâce à une animation graphique superposée sur le plan de l'établissement.

Les alertes générées par le système sont également affichées sur cette application et renvoyées vers le téléphone portable mis à la disposition du personnel. La Figure 35 montre une capture d'écran de cette interface.



Figure 35. Application temps réel.

### 2.2.2. Application Web

Cette interface est accessible par Internet. Elle permet aux médecins et aux autres personnes habilitées de consulter les données actimétriques des patients. Par exemple, ces présentations seront le résultat d'un traitement longitudinal des données liées à leurs déplacements (distance parcourue, vitesse de déplacement, activité nocturne, historiques des alertes) et aux informations fournies par le personnel soignant (observations, dossier médical,...). Cette approche a été construite en collaboration avec le personnel concerné de l'Hôpital. Ce sont

aujourd'hui des caractéristiques jugées intéressantes et très utiles par le personnel médical, dans leurs observations quotidiennes. La Figure 36 illustre l'interface telle que nous venons de la définir. Le menu permet, pour des examens plus approfondis, d'accéder à des données cumulées et pré traitées sous forme de courbes.



Figure 36. Application Web.

### 3.Participants

L'Hôpital de Caussade accueille parmi ses patients, des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Cette maladie interdit presque toute communication avec le patient. En particulier, il est quasiment impossible de faire porter un badge de manière consciente et visible. Ce point est important et a été l'objet de nombreux échanges. Finalement, avec l'appui de l'équipe soignante de Caussade, le badge a été conditionné pour être placé dans le dos des patients comme le montre la Figure 37. L'expérience montre que cette procédure est une solution acceptable. C'est une perspective, au delà de *Homecare*, à explorer notamment en recherchant de nouvelles étapes de miniaturisation du badge.



Figure 37. Placement du Tag sur le patient.

Ces expérimentations, qui ont fait l'objet d'une déclaration normale auprès de la commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) ainsi qu'un consentement éclairé avec les familles des patients hébergés dans le service (annexe 1), se sont déroulées sur une période de 6 mois avec la participation d'un patient. Cette personne, âgée de 84 ans, souffre d'une maladie de type Alzheimer. Elle vivait à son domicile avec son époux. Suite à l'aggravation des troubles de conduites, elle entre en Septembre 2011 à l'EHPAD, où ses troubles se renforcent. Dix jours après, elle arrive en urgence, dans le service sécurisé. Elle communique malgré un manque de mot, présente un état *anxio-dépressif*, des phases d'agitation et une déambulation importante. Son évolution dans le service est marquée par une perte progressive de la communication verbale avec un apaisement de la souffrance psychique : disparition des états d'agitation mais persistance de la déambulation sur l'ensemble de la journée. Les objectifs, avec ce patient, dans le dispositif *Homecare*, étaient :

- D'appréhender plus finement ses principales difficultés : l'alimentation (surveillance de la perte de poids), la déambulation et le sommeil.
- D'être alerté de risques potentiels : immobilisation prolongée, errance hors des locaux, chute, ...

## 4. Résultats des expérimentations

### 4.1. Déviation comportementale

L'objectif dans cette partie est de caractériser l'activité. Nous avons proposé un indicateur de « déviation comportementale R », que nous définissons comme le rapport entre les déplacements non habituels et l'ensemble des déplacements, sur une tranche horaire donnée. Ce calcul vient à la suite d'une étape d'apprentissage. L'algorithme d'apprentissage traite les déplacements du patient sur la base d'une période précédente. Cette base de connaissances permet d'identifier des classes de déplacements et de fixer leurs centres. Ensuite, en usage courant, on détecte les déplacements anormaux, c'est à dire les déplacements qui n'appartiennent à aucune des classes générées lors de la phase d'apprentissage.

#### 3.1.1. Classification des déplacements

La Figure 38 montre tous les déplacements possibles identifiés : la phase 1 de prétraitement (voir le chapitre 2) a permis d'identifier 5 types de déplacements parmi les déplacements possibles compte tenu de la surface surveillée et de la quantité de données collectées. Nous

avons mené ces expérimentations pendant l'hiver ce qui explique que les déplacements du patient sont concentrés principalement entre la chambre, le couloir et la salle de vie (déplacement 1 et 2). Cette classification représente 98% des données totales collectées. Ces résultats nous ont permis de filtrer quelques données bruitées, liées à de faux déplacements causés par des interférences au sein de notre réseau de surveillance *RF*. En effet, le système rejette automatiquement tout déplacement détecté qui n'est pas possible d'un point de vue cartographique (ex : déplacement entre la chambre et la salle de vie).

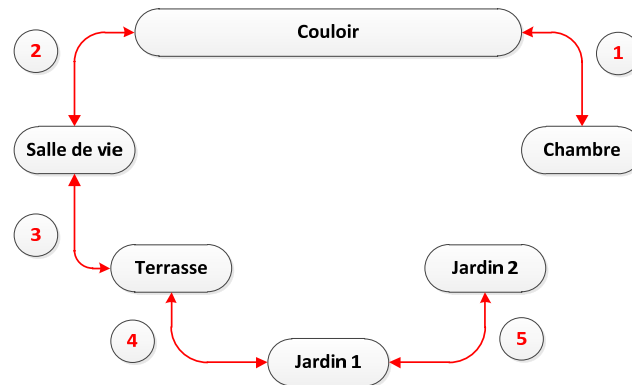


Figure 38. Les déplacements possibles entre les zones surveillées.

Le Tableau 3 représente, selon les tranches horaires, le pourcentage de données pour chaque type de déplacement par rapport aux données totales collectées. On constate que ces valeurs caractérisent parfaitement la répartition du temps de présence du patient dans l'établissement. En effet, le matin, le nombre de déplacements entre la chambre et le couloir représente plus de 50% du nombre de déplacement total. Dans l'après-midi et la soirée, le patient se déplace principalement entre la salle de vie et le couloir. Pendant la nuit, le patient est dans sa chambre, avec toutefois quelques déplacements vers le couloir avec un taux plus faible que pour les autres périodes. Sur cette base, nous avons choisi d'analyser les données, par tranches horaires, et d'ordonner selon le type de déplacement le plus significatif en terme de quantité de données (matin et nuit : déplacement 1, après-midi et soir : déplacement 2).

	Type de déplacement				
	1	2	3	4	5
<b>Matin</b>	55,7%	36,6%	6,2%	1,2%	0,3%
<b>Après-midi</b>	27,8%	64,5%	5,4%	1,6%	0,7%
<b>Soir</b>	42,7%	54,7%	2,6%	0%	0%
<b>Nuit</b>	99,6%	0,4%	0,0%	0%	0%

Tableau 3. Quantité de données collectées par tranche horaire.

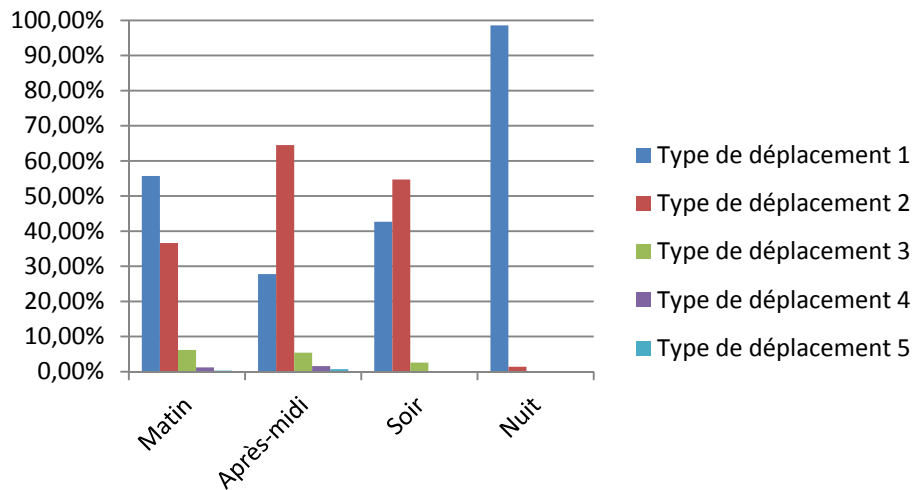


Figure 39. Quantité de données collectées par tranche horaire.

La méthode *k-means* utilisée en phase 2, pour la classification non supervisée, nécessite de préciser le nombre de classes a priori. Les résultats obtenus dépendent de ce paramètre. Afin de définir une valeur optimale, nous avons effectué des essais sur le type de déplacement 1 (chambre-couloir) pour 2 valeurs (nombre de classes en entrée) tout en traçant la silhouette de chaque classification [115].

La valeur silhouette (Équation 13) est la mesure de la distance entre chaque déplacement avec les autres déplacements de la même classe comparée à la distance avec les déplacements de la classe voisine. Cette mesure varie entre -1 et 1. Si, elle est négative cela signifie que le déplacement est mal classé. Si elle est positive, le déplacement appartient à la bonne classe.

Équation 13

$$Silh_i = \frac{(b_i - a_i)}{\max(b_i, a_i)}$$

Où  $a_i$  est la distance moyenne entre l' $i$ ème déplacement et les autres déplacements de la même classe. Et  $b_i$  est la distance moyenne minimale de ce même déplacement avec les déplacements des autres classes.

La Figure 40 montre un exemple de classification des déplacements entre la chambre et le couloir de la tranche horaire matin (08h-12h), sur 2 et 3 classes. On constate que, avec une classification sur 2 classes, quelques déplacements ont des valeurs de silhouette négatives (Figure 41). Ce qui signifie qu'ils sont mal classés. Tandis que sur 3 classes tous les déplacements ont une valeur silhouette positive. Nous avons donc retenu la valeur 3 comme nombre de classes à générer.

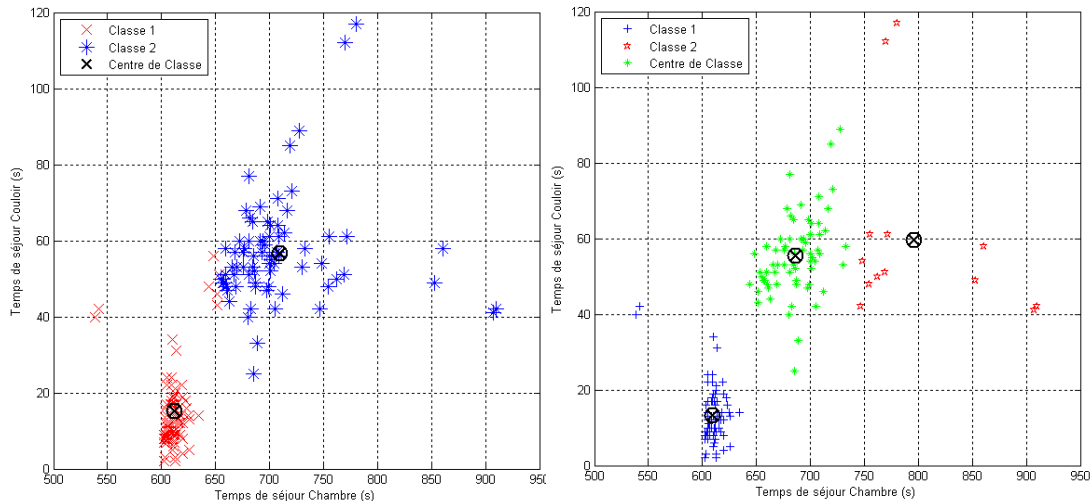


Figure 40. Classification des déplacements (chambre-couloir) sur 2 et 3 classes de la tranche horaire Matin.

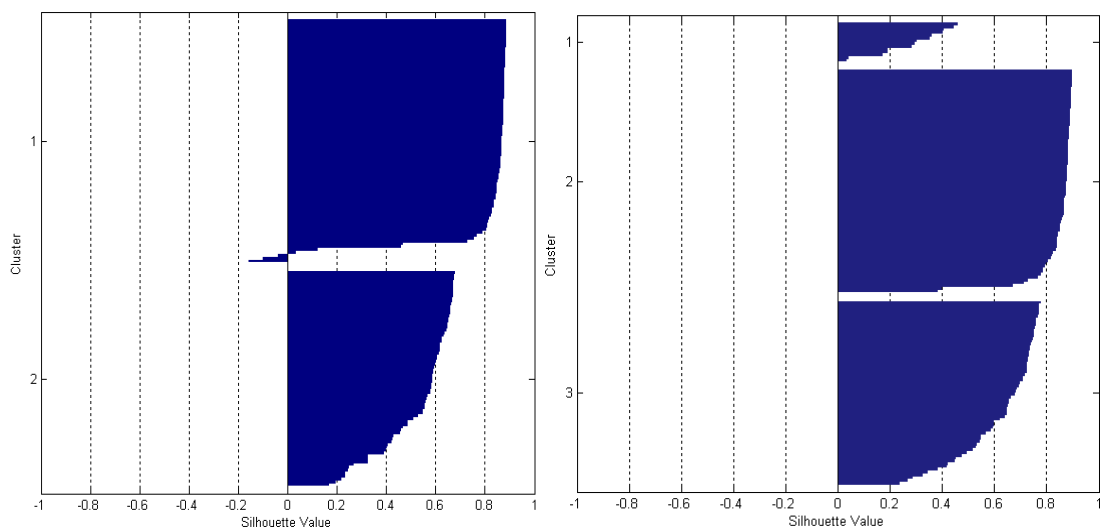


Figure 41. Silhouette de la classification des déplacements (chambre-couloir) sur 2 et 3 classes.

Les Figure 40 montre que les déplacements du patient pendant la matinée sont caractérisés par un temps de séjour dans la chambre de quelques centaines de secondes avec des temps de présence dans le couloir de quelques dizaines de secondes, du fait que le patient utilise le couloir comme une zone de passage à une autre pièce, telle que la salle de vie ou la chambre. Dans l'après-midi (Figure 42), les déplacements du patient sont plutôt concentrés entre la salle de vie et le couloir, mais avec une répartition du temps de présence différente : le patient n'utilise plus le couloir comme une zone de passage, mais il y passe un temps plus important. La raison semble être que l'activité du service est plus importante durant cette période (visites familiales, ...). Il passe aussi plus de temps dans la salle de vie (période du déjeuner). Dans la soirée (Figure 43), le patient se déplace entre ces deux zones avec un temps de séjour dans la salle de vie moins important.

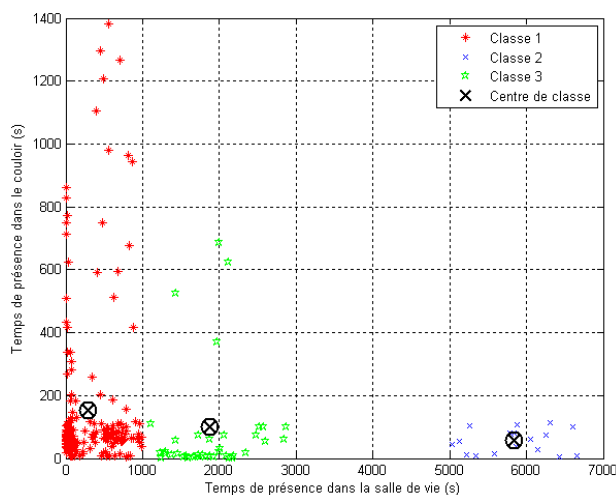


Figure 42. Classification des déplacements (salle de vie-couloir) de la tranche horaire Après-midi.

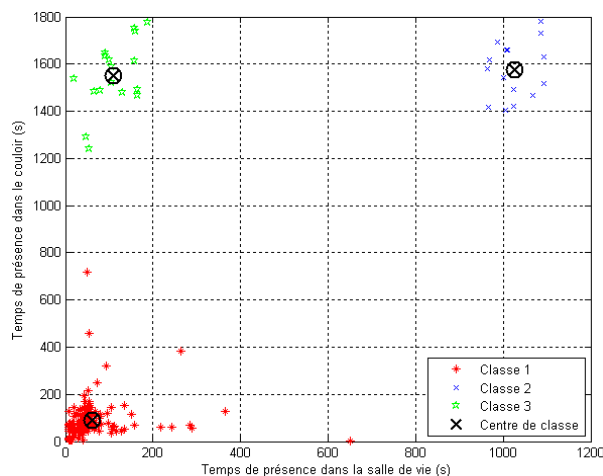


Figure 43. Classification des déplacements (salle de vie-couloir) de la tranche horaire Soir.

Pendant la nuit, le nombre des déplacements est faible. La Figure 44 montre que les classes 1 et 2 correspondent à des temps de présence dans le couloir de quelques minutes. Tandis que la classe 3 indique que ce temps est de 20 à 30 minutes. Cela dénote une activité nocturne importante du patient.

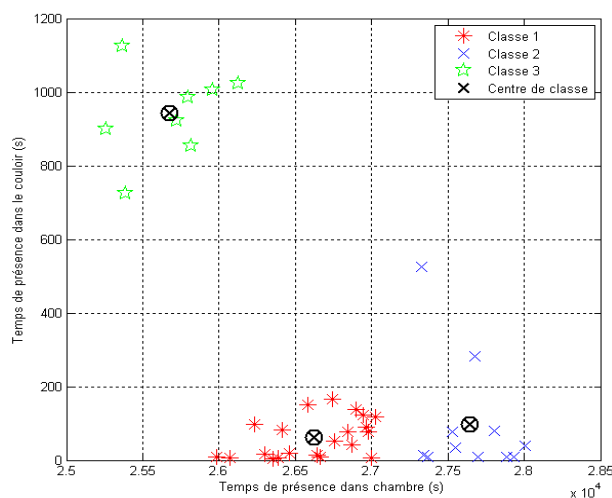


Figure 44. Classification des déplacements (chambre-couloir) de la tranche horaire Nuit.

### 3.1.2. Calcul de l'indicateur $R$

Afin de tester l'approche proposée, nous avons mis en place quatre processus de tests qui permettent de calculer l'indicateur de déviation comportementale  $R$  en parallèle, selon la tranche horaire (matin, après-midi, soir, nuit), sur une période de 180 jours.

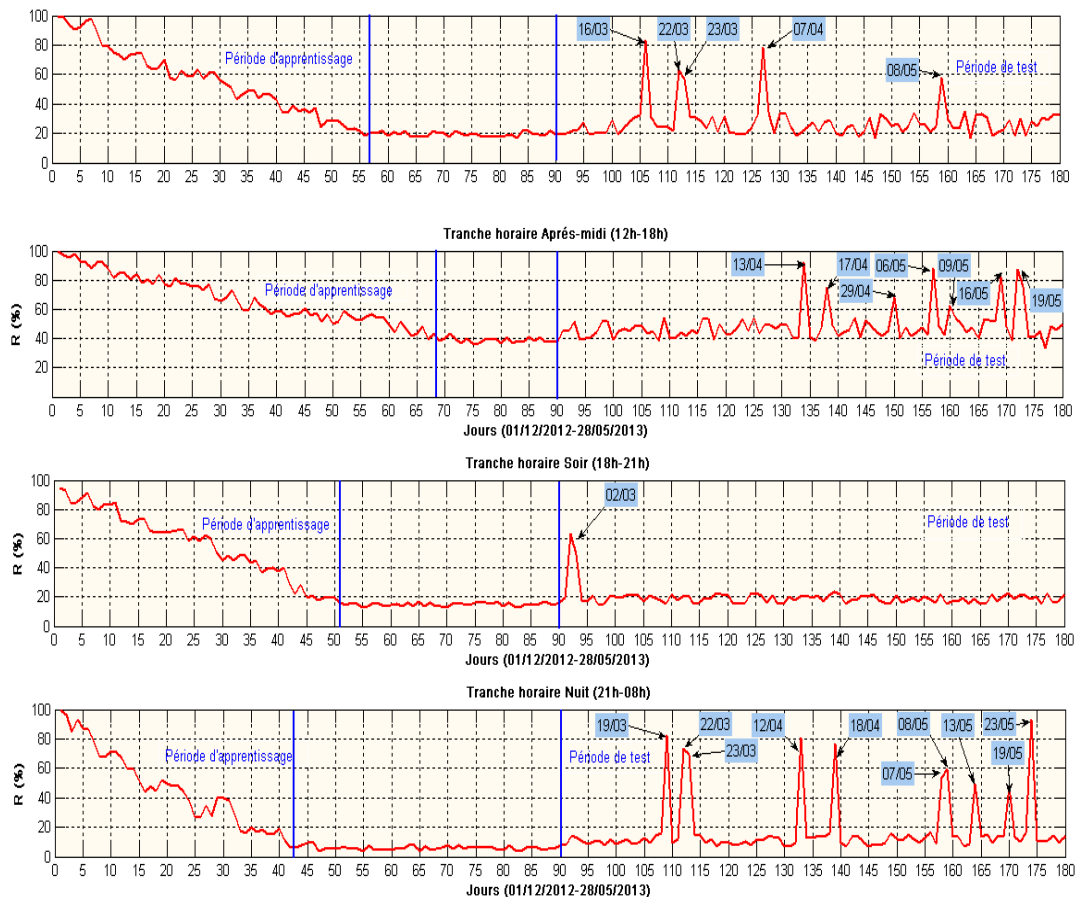


Figure 45. Evolution de l'indicateur  $R$  (Nombre de déplacements inhabituelles/ Nombre de déplacements total) des tranches horaires durant une période 180 jours.

La Figure 45 montre l'évolution de cet indicateur dans le temps. Une phase d'apprentissage permet de personnaliser le modèle avec les habitudes du patient en incluant la totalité des données recueillies dans le but de définir la période minimum nécessaire afin que le modèle puisse acquérir suffisamment de connaissances sur les habitudes de déplacement du patient. Durant cette période, le déclenchement des alertes est désactivé. La Figure 45 montre une évolution descendante de l'indicateur  $R$  avec une inclinaison de la pente différente d'une tranche horaire à l'autre. Cette inclinaison est liée à la quantité des déplacements à apprendre. Ce qui explique que dans le cas de la tranche horaire Nuit, où il y a moins de données, la courbe de  $R$  peut atteindre un niveau minimum de stabilisation plus rapidement (la période d'apprentissage est plus courte). Ce niveau de stabilisation de la valeur de  $R$  indique que le



modèle a intégré suffisamment de connaissances sur le comportement du patient. Toutefois, cette valeur n'est pas nulle parce qu'elle représente la quantité de « bruits » liés aux faux déplacements détectés (perturbation RF).

La deuxième partie de cette procédure a été consacrée aux tests de détection d'urgence liée aux changements du comportement habituel. Nous avons donc réactivé le déclenchement d'alerte afin de détecter les variations importantes de  $R$ . Durant cette phase, le modèle se définit selon l'auto-apprentissage (fenêtre glissante) effectué sur la base des données recueillies pendant les jours précédents. Cette durée correspond à la période requise à l'apprentissage de chaque tranche horaire (ex : la tranche horaire nuit a besoin d'une période d'apprentissage d'au moins 40 jours).

Durant la période de test, nous avons détecté un total de 22 cas suspects (matin : 5, après-midi : 7, soir : 1, nuit : 10). Cependant, ces cas identifiés ne sont pas nécessairement critiques. Il revient au personnel médical de les corrélérer avec d'autres observations médicales (distance parcourue, agitation sur le lit, score neuropsychiatrique...) afin d'affiner leurs interprétations et évaluer leurs gravités (amélioration ou détérioration).

## 4.2. Activité nocturne

### 3.1.3. Activité sur le lit

C'est l'agitation du patient sur son lit pendant la nuit (23:00-8:00), calculée en fonction du nombre de détections de mouvement (capteur IR du lit) comptabilisé sur une période temporelle de 1 minute.

Équation 14

$$A(t) = \left( \sum_{i=t-D}^t Det(i) \right) * \frac{100}{N}$$

$$avec N = D * \Delta_c * S$$

Avec :

$A(t)$ : Agitation à l'instant  $t$  en %

$D$  : Durée de l'intervalle temporel considéré en seconde = 1\*60

$Det(i)$  : Nombre de détections du capteur à l'instant  $i$

$N$  : Nombre maximum de détections possibles en 1 min

$\Delta_c$ : Nombre de détections possibles en 1 seconde pour un détecteur = 1

$S$  : Nombre de détections pouvant s'activer simultanément = 1

La Figure 46 montre deux graphiques d'activité nocturne sur le lit. Le premier graphique (histogrammes bleus) est identifié comme étant représentatif d'un profil d'une nuit habituelle. Il est établi à partir d'une moyenne de 30 nuits. Le deuxième graphique (histogrammes rouges) représente la nuit du 07/05 durant laquelle, le système a identifié une déviation dans le comportement du patient (Figure 45).

On remarque que durant une nuit normale, le patient se couche vers 21:00, et il passe une période d'endormissement qui dure jusqu'à 23:30. Après cette période, le patient rentre dans un sommeil profond caractérisé par une activité physique faible. Cette activité augmente vers 03:00, ce qui peut être interprété comme une simple agitation sur le lit ou un lever/coucher. On constate qu'il y a une forte activité physique détectée après une courte durée de sommeil (d'environ 1 heure). Cela précède le lever final du patient entre 7:00 et 8:00.

Dans le cas de la nuit du 07/05, on remarque que le profil est inversé. Le patient se couche bien avant 21:00. Donc, à cette heure-ci, le patient est déjà dans un sommeil profond qui dure jusqu'à 23:00. Au-delà de cette heure, on détecte une forte activité physique, qui indique que le patient est dans un état de sommeil léger ou même éveillé. On peut aussi identifier sur ce graphique les absences du patient de son lit entre 00:07 et 01:22, 03:24 et 05:17 en corrélant ces informations avec les données du détecteur de présence installé sous le matelas du patient.

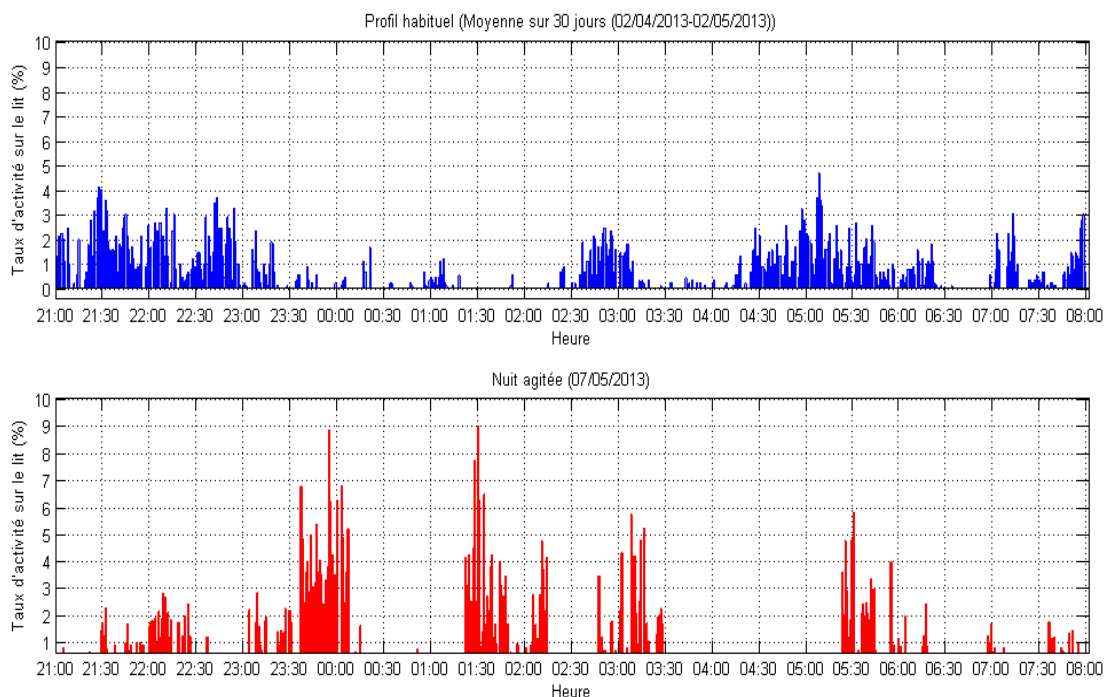


Figure 46. Profil d'activité nocturne du patient sur le lit.

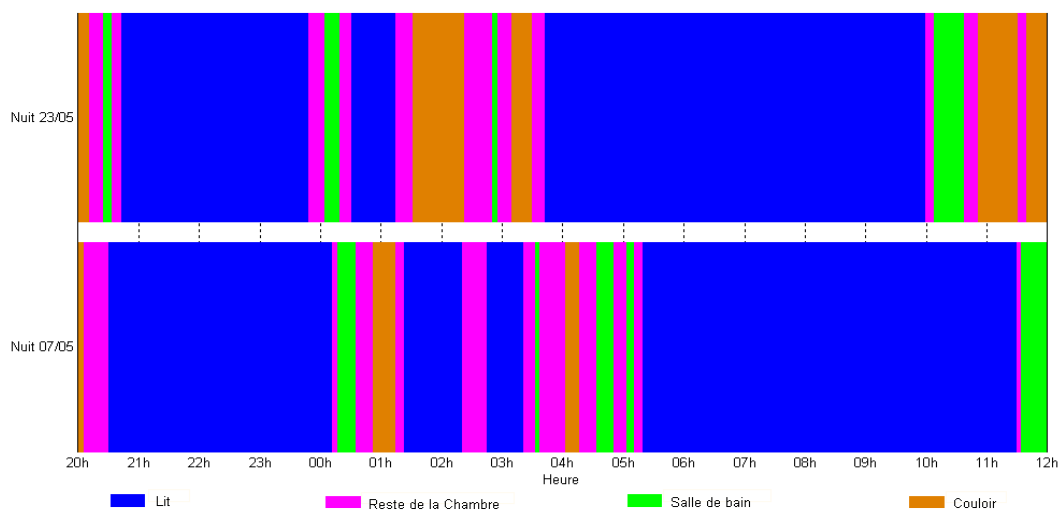
Nous avons observé ce critère sur une période de 10 mois. Durant cette période, le système a détecté un total de 140 cas d'alertes sur agitation dont 126 sont positives (confirmées par le personnel médical) avec une sensibilité de 90% (Tableau 4).

Mois	Alertes totales	Alertes positives	Sensibilité
Août	6	5	83,33%
Sept	8	7	87,50%
Oct	21	19	90,48%
Nov	9	8	88,89%
Déc	4	4	100,00%
Jan	24	22	91,67%
Fév	31	28	90,32%
Mar	9	8	88,89%
Avr	17	15	88,24%
Mai	11	10	90,91%
	Somme	Somme	Moyenne
	140	126	90,02%

Tableau 4. Taux d'alertes d'agitation nocturne sur le lit.

### 3.1.4. Séquence de présence nocturne du patient

La Figure 47 montre, la séquence de présence du patient durant la nuit du 07/05 et 23/05. Ces deux exemples confirment les déviations détectées par le système. Le patient se lève plusieurs fois pendant la nuit pour aller aux toilettes ou sortir de la chambre (07/05). Par conséquent, le patient reste couché jusqu'à la fin de la matinée. Ces cas ont pu être diagnostiqués à l'aide des observations du personnel soignant qui indiquent que le patient, s'il déambule, le fait fréquemment entre minuit et 03:00 du matin.



### 3.1.5. Temps de séjour dans la salle de bain

C'est la durée de présence du patient dans la salle de bain. Elle est calculée selon la formule suivante :

Équation 15

$$S(t)_{sb} = t_{en} - t_{sor}$$

Avec :

$S(t)_{sb}$ : Durée du séjour dans la salle de bain (en minute)

$t_{en}$  : Instant où le patient entre dans la salle de bain

$t_{sor}$  : Instant où le patient sort de la salle de bain

La Figure 48 présente le temps de séjour sur 21 jours (incluant les jours du 07/05 et 23/05). On remarque que le patient passe en moyenne 20 mn (1192 s) dans la salle de bain. Cette durée est calculée à partir d'un cumul du temps de séjour pour chaque nuit. On constate que le temps de séjour de la nuit du 07/05 et 23/05 est important, ce qui confirme la séquence de présence illustrée dans la Figure 47.

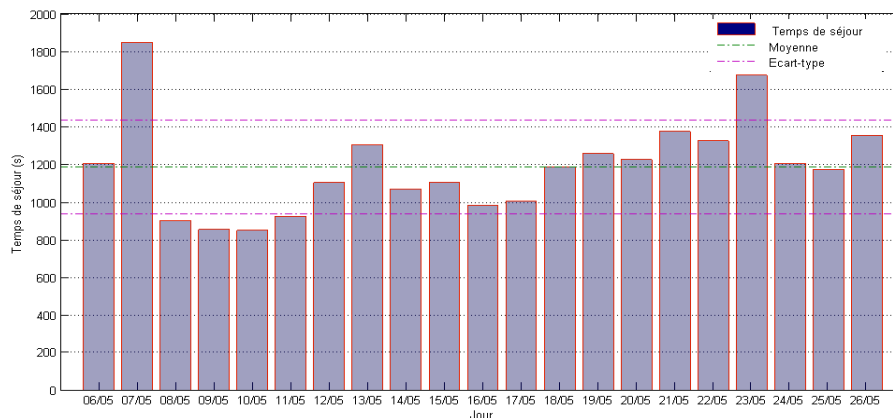


Figure 48. Variation du temps de séjour du patient dans la salle de bain sur 21 jours.

### 4.3. Détection de chute

Cette fonction est basée sur l'analyse des variations de l'accélération que subit le corps humain pendant une chute. Elle est implémentée dans le microcontrôleur du *Tag* et exploite les données de l'accéléromètre 3 axes embarqué. Le paramètre utilisé pour calculer l'accélération est le vecteur somme  $V_s$  qui contient les composantes statiques et dynamiques de l'accélération (Équation 16) [116][117].

Équation 16

$$V_s = \sqrt{(A_x)^2 + (A_y)^2 + (A_z)^2}$$

Avec :

$A_x, A_y, A_z$  : L'accélération (g) suivant les axes x, y, z

Notre algorithme (Figure 49) utilise trois seuils d'accélération pour caractériser une chute : un seuil pour détecter la chute libre, un seuil pour détecter le choc avec le sol et un seuil pour déterminer la posture après le choc [59].

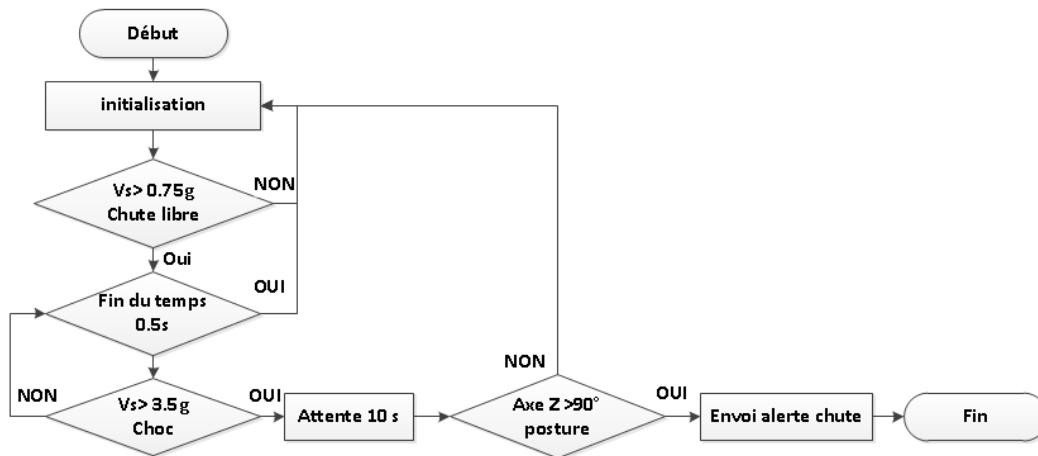


Figure 49. Algorithme de chute développé.

Nous avons effectué des tests en laboratoire de cet algorithme afin d'évaluer sa sensibilité et sa spécificité. Les tableaux suivant montrent les résultats de ces tests.

Activité	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Totaux
<b>Jambes Droites</b>				
avant	VP	VP	VP	3/3
arrière	VP	VP	VP	3/3
latérale gauche	VP	VP	VP	3/3
latérale droite	VP	VN	VP	2/3
<b>Jambe fléchies</b>				
avant	VP	VP	VP	3/3
arrière	VP	VP	VP	3/3
latérale gauche	VP	VP	VP	3/3
latérale droite	VN	VP	VP	3/3
<b>Chute en mouvement</b>				
avant	VP	VP	VP	3/3
arrière	VP	VP	VP	3/3
latérale gauche	VN	VN	VP	2/3
latérale droite	VP	VP	VP	3/3
<b>Chute depuis lit</b>				
Essai 1	VP	VP	VP	3/3
Essai 2	VP	VP	VP	3/3
Essai 3	VP	VP	VN	3/2
<b>Nombre de vraies détections</b>				<b>40/45</b>
<b>Sensibilité</b>				<b>89%</b>

Tableau 5. Tests en laboratoire de la sensibilité du détecteur de chute.

Avec :

VP : vrai positif (évènement chute détectée)

VN : vrai négatif (évènement chute non détectée)

Activité	Résultat fausses détections			
	Test 1	Test 2	Test 3	
<b>Ramasser un objet</b>	0/2	0/2	0/2	
<b>S'asseoir puis se lever</b>				
Fauteuil	0/2	0/2	0/2	
Chaise cuisine	0/2	0/2	0/2	
canapé	0/2	0/2	0/2	
lit	0/2	0/2	0/2	
<b>Se Coucher puis se lever</b>	1/2	0/2	0/2	
<b>Marcher sur 20 m</b>	0/2	0/2	0/2	
<b>Sauter sur place</b>	0/2	1/2	0/2	
<b>Se retourner lit</b>	0/2	1/2	0/2	
<b>S'agiter lit</b>	0/2	0/2	0/2	
<b>Nombre de fausses détections pour 20 tests</b>	01/20	02/20	0/20	<b>42/45</b>
<b>Spécificité</b>	95%	90%	100%	<b>95%</b>

Tableau 6. Tests en laboratoire de la spécificité du détecteur de chute.

Durant les expérimentations, le système n'a pas détecté de vraies chutes, toutes les alertes déclenchées ont été validées, comme fausses détections, par le personnel médical. Donc, afin de réduire le taux de ces alertes déclenchées quotidiennement, nous avons ajouté un filtrage par une condition d'immobilité après la chute, qui déclenche cette alerte, seulement si, le patient est immobile pendant un laps de temps (environ 10s). Ce filtrage a réduit considérablement les fausses détections. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Mois	Nombre total de détections	Nombre de fausses détections	Moyenne de fausses détections /jour
Mars	38	38	1,23
Avril	135	135	4,5
Mai	92	92	2,97
Total	265	265	Moyenne
			<b>2,9</b>

Tableau 7. Fiabilité de la détection de chute.

Cependant, cette amélioration reste insuffisante. En effet, trois fausses alertes par jour reste un taux élevé, dans l'hypothèse où le système est déployé en institution pour la surveillance de plusieurs personnes. Ainsi, une procédure de confirmation (par capteurs IR ou caméra infrarouge) s'impose afin d'améliorer le taux de réussite du détecteur de chute.

#### 4.4. Détection de fugue

Cette alerte « fugue » est déclenchée, si aucune balise ne reçoit d'identifiant de la part du *Tag* porté par le patient pendant un temps prédéfini. Le test de cette alerte s'est déroulé sur une période de 3 mois, durant laquelle le système n'a pas reçu de vraies détections de fugue. Les fausses alertes montrées dans le tableau suivant sont dues principalement à la manipulation du *tag* par les aides-soignantes lors du changement de la pile.

Mois	Nombre total de détections	Nombre de fausses détections	Moyenne de fausses détections /jour
Mars	8	8	0,26
Avril	7	7	0,23
Mai	5	5	0,17
Total	20	20	Moyenne
			0,22

Tableau 8. Fiabilité de la détection de fugue.

L'alerte « fugue » est pertinente pour la surveillance du patient. Elle permet d'améliorer l'intervention du personnel médical. Le taux de fausses alertes « fugue » générées par le système semble être acceptable par le personnel.

Dans la section suivante, nous présentons les résultats des tests en laboratoire effectués dans le cadre d'une validation technique de l'approche proposée dans *BéA*. Une approche qui s'inscrit dans le même esprit de prévention et d'amélioration de prise en charge des personnes fragiles.

#### 4.5. Détection d'errance et de fugue pour les personnes fragiles (*BéA*)

Afin de tester l'approche que nous avons proposée dans le chapitre 3 pour la détection des cas d'errance (*outdoor*) et de déambulation (*indoor*) chez les personnes fragiles vivant seules à leur domicile, nous avons installé une plateforme de test au niveau du laboratoire LAAS-CNRS avec l'aide de la société *Pole-Star* qui nous a fourni la solution de géolocalisation. Cette plateforme se compose de plusieurs balises *Wi-Fi* déployées dans une partie des bâtiments du laboratoire et qui permet de localiser le porteur du dispositif en intérieur. De plus, l'application de géolocalisation bascule automatiquement vers le réseau *GPS* si ce dispositif ne reçoit plus de signal *Wi-Fi*. La précision de la localisation en intérieur dépend du nombre de balises détectées dans un endroit donné ; dans notre cas, elle est d'environ 2 m.

L'expérimentation de l'algorithme consiste à embarquer le dispositif pendant 6 jours sur une personne volontaire. Cette durée est jugée suffisante pour permettre au modèle d'apprendre les habitudes de déplacement de cette personne en intérieur comme en extérieur. Les données ainsi recueillies lui permettent de tracer les zones de *Géofencing*. La Figure 50 montre les points de localisation recueillies en *Indoor* et *Outdoor* pendant cette période.

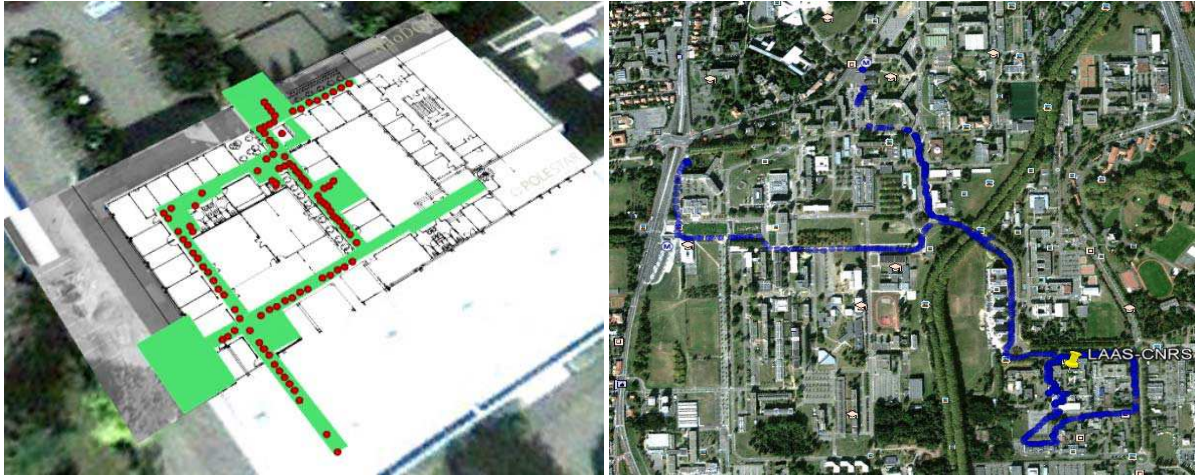


Figure 50. Données collectées en *Indoor* et *Outdoor* durant l'apprentissage.

Au-delà de la période d'apprentissage, nous avons demandé au participant de provoquer des alertes à n'importe quel moment de la journée, soit :

- En accédant à une zone définie comme interdite par apprentissage dans le cas d'une surveillance en intérieur.
- En changeant de trajectoire dans le cas de la surveillance en extérieur.

La Figure 51 (a) montre les résultats de test en intérieur. On remarque que l'algorithme a généré une trajectoire type sous forme de série de zones de sécurité. Ces zones sont définies à partir des points de localisation collectés lors de l'apprentissage. La zone non couverte par ces zones est considérée comme interdite et dangereuse du fait que le dispositif n'a jamais été localisé à cet endroit durant la phase d'apprentissage. En mode test, le dispositif a généré l'alerte dès que la personne a accédé à cette zone, autrement dit, si elle est sortie de sa trajectoire habituelle. La Figure 51 (b) montre un scénario presque identique au précédent mais cette fois-ci en extérieur. L'algorithme identifie la trajectoire type de la personne comme série de zones de *Géofencing*. D'où, dès que la personne n'est plus localisée à l'intérieur de ces zones, le système déclenche l'alerte errance.



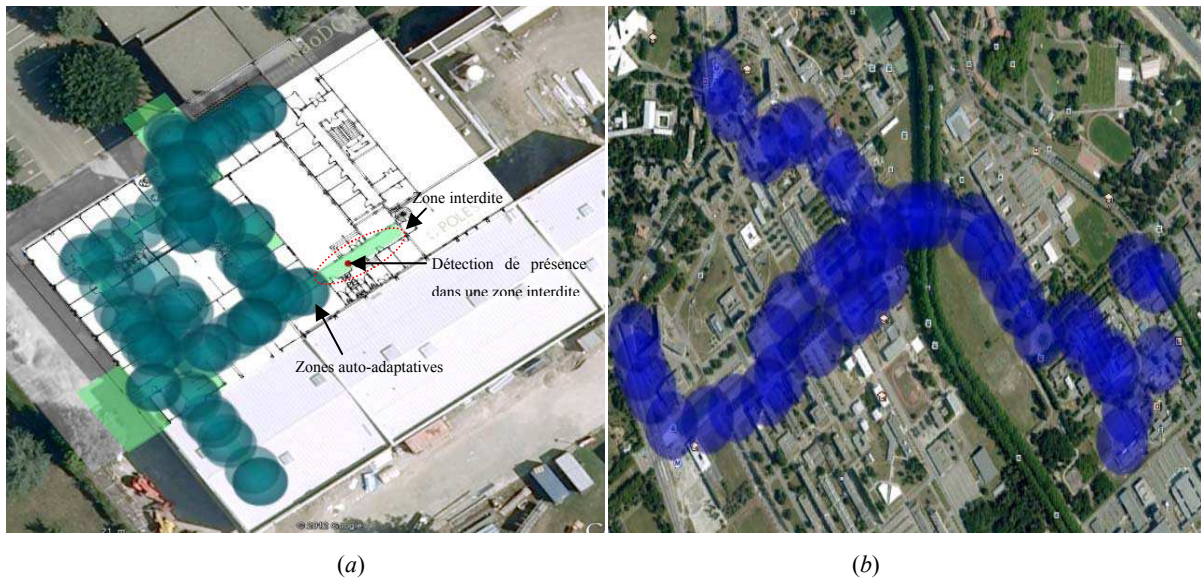


Figure 51. Résultats des tests de l'algorithme auto-adaptatif.

## 5. Evaluation clinique des résultats de *Homecare*

### 5.1. Procédure d'évaluation

Durant les expérimentations, les évènements marquants ont été notés chaque semaine à l'aide de deux tableaux de suivi (Annexe 2). Le Tableau 9 retrace les évènements qui ont pu impacter la « déviation de comportement ».

OK : Evènement validé

NV : Evènement non validé (absence de trace médicale)

	Matin	Après-midi	Soir	Nuit	Commentaires
02-mars			OK		Le 3-03 a dormi jusqu'à 12h après avoir déambulé la nuit du 2 au 3-03
16-mars	NV				
19-mars				OK	Déambulations dans la chambre non repérées par l'équipe
22-mars	NV			NV	
23-mars	NV			NV	
07-avr	NV				
12-avr				NV	
13-avr		NV			
17-avr		NV			
18-avr				NV	
29-avr		NV			
06-mai		OK			Température 38° à 15h
07-mai				OK	Refus tt de nuit, déambulation nuit
08-mai	OK			OK	Enrhumée
09-mai		NV			
13-mai				OK	Enrhumée
16-mai		OK			A partir du 14-05 est perturbée par un nouveau patient
19-mai		NV		NV	
23-mai				OK	Déambulation notée
Somme des évènements	5	7	1	10	Total des évènements validés : 9 Total des évènements non validé : 14

Tableau 9. Corrélation des déviations comportementales détectées avec les observations du personnel.

Les troubles de conduite ont été évalués à l'aide des échelles NPI-ES « Inventaire neuropsychiatrique » et l'inventaire d'agitation de Cohen Mansfield « Cohen Mansfield

Agitation Inventory » (Annexe 3). Une première évaluation a été réalisée au mois de Février 2013 puis une deuxième le 11 Avril 2013 par le même soignant.

Date	7/02/2013	11/04/2013
NPI	42	23
Cohen Mansfield	60	50

Tableau 10. Evaluation des troubles de conduites (Annexe 3).

Mars 2013	Avril 2013	Mai 2013
41 kgs	42 kgs	42,5 kgs

Tableau 11. Surveillance du poids.

## 5.2. Interprétations cliniques des résultats

L'étude de la déambulation s'est avérée très pertinente en permettant d'affiner la compréhension de ses déambulations nocturnes et diurnes, de mieux comprendre ses troubles du sommeil et ses phases de somnolence en matinée ainsi que les besoins alimentaires qui pouvaient en découler [118][119].

La quantification des déplacements quotidiens ainsi que l'étude de la déviation comportementale du patient ont permis de mieux appréhender l'importance de sa dépense énergétique. Les distances parcourues peuvent atteindre plusieurs kilomètres par jour. L'équipe soignante a ainsi adapté sa ration calorique (Tableau 11). La Figure 52 présente la différence de distance parcourue pendant une journée habituelle et une journée inhabituelle (cas de déambulation diurne).

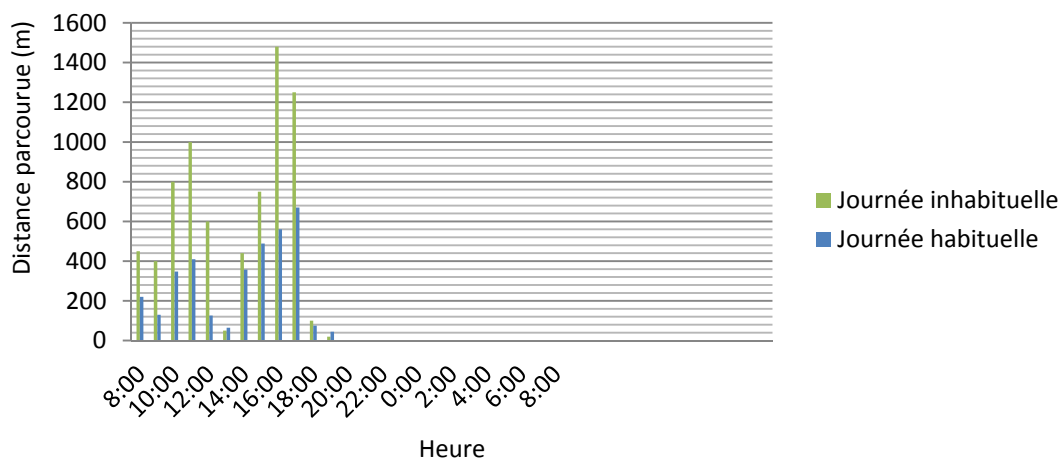


Figure 52. Exemple de mesure de distance parcourue sur une journée (habituelle et inhabituelle).

Les courbes de la déviation comportementale (Figure 45) indiquent une variation du comportement particulièrement importante la nuit. Le patient s'éveille certaines nuits, ces phase de réveil survenant la plupart du temps entre minuit et deux heures du matin et se prolongeant parfois jusqu'au petit matin.

Cette activité nocturne non régulée par l'équipe soignante car souvent non décelée, génère une activité d'éveil assez longue qui entraîne une modification de l'activité habituelle en journée (ex : 07/05, 23/05). Ces réveils ne sont pas confirmés par les transmissions de l'équipe de nuit qui n'est présente dans le service qu'à certains moments de la nuit (ce qui explique la non-validation des autres évènements). Cependant, l'équipe de jour note des matinées avec une somnolence accrue voire un sommeil profond et ce jusqu'en fin de matinée (08/05). Cela semble valider les évènements du changement de comportement détectés par le système *Homecare* (Figure 45).

La Figure 53 montre une comparaison de distance parcourue entre une nuit normale (sans perturbation de sommeil) et une nuit avec perturbation de sommeil (07/05) et qui illustre le cas de figure cité. On remarque que, après que le patient ait passé une nuit avec des perturbations de sommeil, il s'est rendormi au petit matin. Cet endormissement est détecté par le système comme une déviation de comportement validée (08/05).

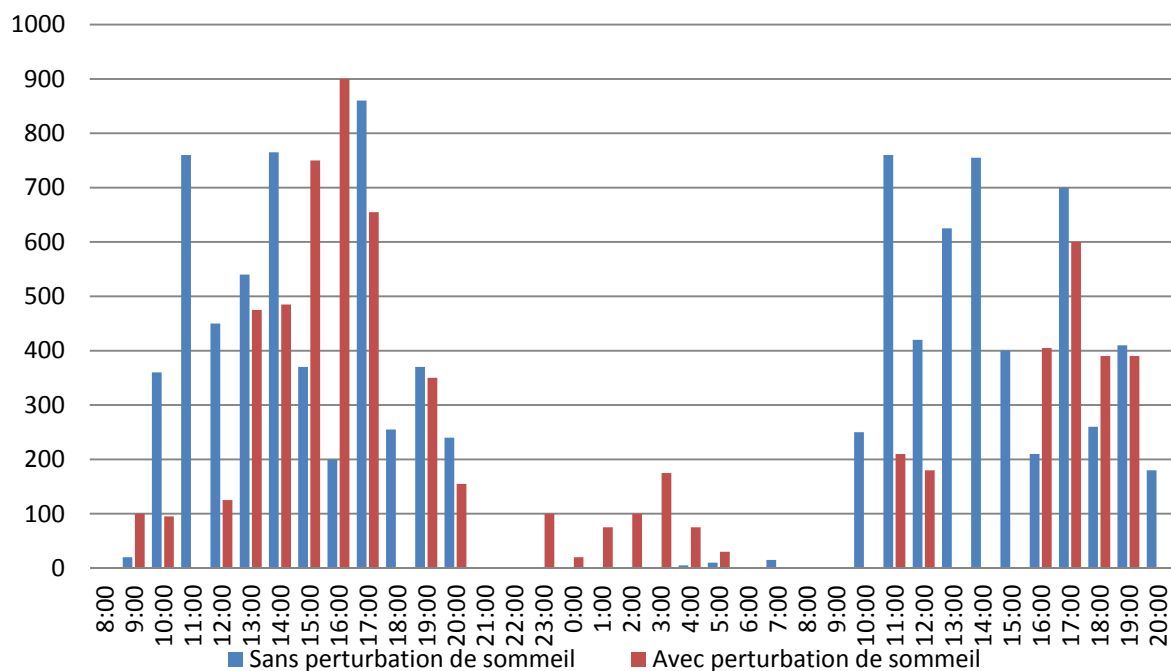


Figure 53. Distance parcourue sur 36 heures (07/05-08/05).

## 6. Fiabilité d'utilisation de *Homecare*

### 6.1. Acceptabilité du patch

Le patient a porté le *tag* pendant 8 mois. Durant cette période, il a tenté de l'enlever une seule fois. D'après le personnel médical, il ne ressent pas une douleur ou gêne grâce au pansement utilisé. Ce pansement est changé une fois par semaine et vérifié qu'il est en place 2 à 3 fois par jour (matin, soir, au moment de toilette). D'un autre côté, l'équipe soignante pense que le risque que ce dispositif puisse peser sur l'intimité du patient est modéré (13 personnes parmi les 15 participants à l'expérimentation souhaitent bénéficier de ce dispositif, quand il sera au point, pour une personne de leur famille, à condition de bien définir pour qui et pourquoi on installe ce dispositif). Toutefois, Le *Tag* doit être davantage miniaturisé, afin qu'il soit plus transparent pour l'utilisateur. Dans cet esprit, la réflexion est aussi orientée vers un patch intégré dans le vêtement.

### 6.2. Un suivi en temps réel

Le personnel médical indique que les fonctionnalités de localisation et de détection de chute, fugue, activité nocturne (agitation et présence dans le lit) et déviation comportementale sont utiles et pertinentes, à la fois pour la surveillance temps réel et l'aide à la prise de décision et à l'intervention. Cependant, la fonction de détection d'immobilité prolongée et le temps de séjour dans la salle de bain sont peu utilisés dans le cadre d'un déploiement en institution. D'autre part, l'équipe soignante estime que la fiabilité des détections de *Homecare* (chute, fugue, activité nocturne, déviation comportementale) reste à améliorer dans le but de répondre aux exigences d'une meilleure surveillance médicale.

### 6.3. Une consultation en temps différé

A travers l'interface web, les médecins ont la possibilité de consulter le suivi actimétrique du patient. Cette interface a été optimisée ergonomiquement afin de faciliter son utilisation par le personnel médical. La mesure de la distance parcourue ainsi que la vitesse et l'activité nocturne ont permis aux médecins de détecter les cas de déambulation. Concrètement, l'équipe soignante avait connaissance des cas de déambulations du patient pendant la nuit, mais grâce à la mesure de la distance, ils ont confirmé ces cas et le nombre « très important » de kilomètres parcourus le jour et la nuit.

## 7. Intérêt global de *Homecare*

Le personnel médical trouve que l'utilisation de *Homecare* est utile (11/15 personnes du service personnel qui ont participé aux expérimentations trouvent que le dispositif proposé est utile, 2/15 trouvent qu'il est très utile et 2/15 trouvent qu'il est moyennement utile). Il permet la géolocalisation de la personne, l'alerte immédiate en cas d'évènements, l'analyse du suivi actimétrique, ce qui apporte à l'équipe de soin une meilleure surveillance de ces résidents, une intervention plus rapide et une meilleure compréhension de leur comportement et parfois même à ajuster les thérapeutiques (annexe 3).

Selon les utilisateurs, l'intérêt clinique de *Homecare*, durant l'expérimentation, a été supérieur à son aspect sécurité-surveillance compte tenu d'une fiabilité qui n'est pas très robuste des alertes. En effet, ils estiment que 3 à 15 fausses alertes par semaine est acceptable sur l'ensemble de l'unité (1 par personne/semaine au maximum). Une évaluation de l'acceptabilité du système avec une population ne présentant pas ou peu de troubles cognitifs serait intéressante car l'importance des troubles de conduites rend difficile la formalisation d'une journée normale type.

En résumé, on peut constater dans ces expérimentations que le système *Homecare* est techniquement au point et qu'il peut exercer sa fonction de surveillance : identifier, localiser, détecter les déviations comportementales, les troubles de sommeil (activité nocturne), les chutes et les fugues. Il convient toutefois, même pour ce niveau technique, de poursuivre le travail d'amélioration et de validation. Il faut envisager de lancer une double validation :

- Du côté clinique en évaluant le bénéfice médical rendu comparativement aux pratiques en cours tout en améliorant la sensibilité et la spécificité du système. Compte tenu de la variabilité des situations et des usages, c'est probablement quelques centaines de cas qu'il faudrait considérer, sur des périodes longues de plus d'une année.
- Du côté des usagers et de leurs familles pour s'assurer de l'acceptabilité du système à plus grande échelle.

## 8. Modèle économique de *Homecare*

Pour réaliser les fonctions de *Homecare*, les technologies sont disponibles : les capteurs balises sont miniaturisés et communiquent « sans fil » pour être installés en quelques heures. Les personnes sont équipées d'un badge miniaturisé pour être porté sur un vêtement ou à

même le corps. Un réseau informatique local permet de collecter les informations sur un processeur de surveillance qui peut bénéficier de toutes les possibilités téléphoniques et Internet. Les constituants électroniques de proximités (capteurs répartis, réseau de collecte, Poste central) peuvent être choisis pour rester dans un coût d'investissement matériel raisonnable, pour un usage domestique (<1000 euros, par exemple). On constate donc que techniquement les objectifs sont accessibles : ils sont sur des exemples simples (Hôpital de Caussade) bien validés. On peut aussi estimer que les coûts peuvent être très raisonnables pour autant que l'on atteigne des niveaux de diffusions suffisants (quelques dizaines de milliers de personnes à surveiller).

Le déploiement de ce type de solution technique doit toutefois être encore approfondi en fonction de l'ambition que l'on se fixe :

- Il peut être un système d'alerte simple, que l'on installe chez l'habitant qui le souhaite pour sécuriser une personne à risque, sécuriser au sens de donner une alerte, auprès des proches ou d'un poste central de surveillance 24h/24h, en cas de situation de danger : chute, fugue, défaillance,... La diffusion du système *Homecare* peut dans ce cas être vu comme une extension des systèmes de sécurisation des biens, systèmes largement diffusés ces dernières années sous forme de Kit à installation rapide.
- Il peut être un système d'accompagnement des soins et davantage intégré dans la pratique médicale ; il doit alors mesurer et consigner des données utiles pour les personnels soignants dans leur diagnostic en assurant un suivi longitudinal pour jouer totalement un objectif d'aide à la prévention.
- Il peut être à terme le résultat d'une prescription médicale permettant la surveillance de certaines maladies chroniques à domicile.

Il est à ce stade de l'étude trop tôt pour arbitrer de telles orientations. Il faut avant tout s'assurer que l'option est bien séduisante pour l'utilisateur et l'adapter aux usages tels que l'application l'exige. Cette étape ne peut être franchie que par des tests significatifs en situation d'usages réels. Le projet *Homecare* a conclu à la possibilité immédiate de deux marchés intéressants à explorer en priorité :

- **Le marché des EHPAD** : L'argumentaire, *ici*, est la qualité/sécurité de l'accompagnement proposé aux patients et aux familles. C'est aussi l'information que peut fournir le système de surveillance aux accompagnants, sur l'évolution comportementale de la personne. C'est pour le personnel un appui rassurant et utile qui

lui permet d'évaluer rapidement les habitudes du nouvel arrivant, de juger de l'urgence d'une situation et d'assurer le suivi de manière concertée entre tous les acteurs.

- **Le marché des personnes dépendantes à domicile** : l'argumentaire, ici, est la sécurisation de la personne à risque pour elle-même et pour ses proches. Il s'agit soit de prolonger la vie a domicile soit aux proches de pouvoir surveiller la personne pendant leur absence. *Homecare*, selon les usages, aura à alerter les proches d'un risque probable ou alerter un PC de surveillance regroupant plusieurs abonnés.

## 9. Conclusion

Dans notre travail de thèse, *Homecare* a été expérimenté à l'Hôpital de Caussade avec l'appui du personnel soignant : les résultats obtenus montrent qu'un tel système est fonctionnel. Il a pu être expérimenté sur quelques patients montrant qu'il est déjà opérationnel et peut être techniquement déployé sur des expérimentations plus lourdes en nombre de patients. Des insuffisances sont apparues, notamment des défauts de fiabilité de la détection des cas d'urgence. Par ailleurs, une double validation complémentaire est indispensable : validation par les patients et leurs familles dans leur diversité et validation plus clinique pour établir l'intérêt médical et la connexion avec le système de soins. Là encore, des essais plus nombreux doivent être envisagés.

Nous avons démontré, également, à travers des résultats des tests de l'algorithme auto-adaptatif de diagnostic, que cette solution peut améliorer la sécurisation des personnes fragiles dans leur lieu de vie. Nous avons détecté des cas errance en intérieur et en extérieur ; dans le contexte du projet *BéA* nous avons vérifié qu'il était possible de surveiller des errances à l'extérieur. Cette solution mise en œuvre dans un autre contexte (système *BéA*), pourra être intégrée dans le système *Homecare*, vu qu'elle est indépendante de l'aspect matériel utilisé dans *BéA*. La seule condition qui permettra son bon fonctionnement est celle d'une fonction localisation fiable, mais il conviendra, toutefois, de tester cette solution dans des conditions réelles qui n'ont pas pu être rassemblées durant ce travail.

La dernière question finalement abordée dans ce chapitre est celle du modèle économique. Deux options de valorisation sont identifiées : l'équipement systématique des *EHPAD* et l'intégration du dispositif pour le maintien des patients à domicile ; ces deux approches restent compatibles avec les avancées techniques de *Homecare*.





## Conclusion générale

Le vieillissement de la population et la perte d'autonomie qui touche les personnes les plus âgées sont aujourd'hui des questions essentielles dans nos sociétés modernes. De nouveaux besoins économiques et sanitaires émergent pour prévenir et gérer, aussi efficacement que possible, les effets du vieillissement : détections précoces et préventions pour prolonger l'état de santé « robuste » et pour assurer le suivi des personnes handicapées par les maladies, souvent chroniques, liées au vieillissement. Nous nous interrogeons, dans ce mémoire, sur la contribution possible des technologies de l'électronique et de l'informatique à la résolution de ces questions.

Une option stratégique est le maintien à domicile. Il a deux avantages : de maintenir le patient dans son environnement habituel, familial et rassurant et de pouvoir ainsi réduire les durées d'hospitalisation qui sont des postes de dépenses importantes dans la gestion des soins. Ces questions de maintien à domicile, de réduction de coût de santé, de meilleure qualité de vie ont suscité le lancement de nombreux projets de recherches et de nombreuses initiatives où les technologies ont été étudiées pour être adaptées au service des personnes fragilisées. La mise en œuvre en est encore dans ses premières étapes. Les gérontechnologies deviennent une spécialité importante pour le « bien vieillir » de nos aînés et un secteur économique d'avenir pour nos jeunes en termes d'emplois.

Notre laboratoire travaille sur cette thématique depuis les années 80, il a animé un groupe de travail sur l'« habitat intelligent » [80] qui concluait à l'importance et à l'urgence d'une action nationale de recherche sur la surveillance domotique et le maintien à domicile des patients et des personnes âgées. Accueillie par la Fondation Mérieux [120], le groupe avait mobilisé, sur toute la France, un très large spectre de compétences : techniques, biomédicales, juridiques, associatives.

Partant des conclusions de ce groupe, le laboratoire s'est impliqué, en collaboration avec de nombreuses autres équipes académiques et industrielles, dans le développement d'une approche originale de surveillance des personnes âgées « *PROSAFE* » [6] basée sur une instrumentation de l'environnement de vie par des capteurs de présence. Deux études nationales ont joué un rôle essentiel dans le développement de cette approche : Le projet *TISSAD* « programme *RNTS* 2000-2002 » [121], dirigé par *J.P. Thomesse*, qui a permis de constituer une communauté nationale sur le thème du « maintien à domicile » et le projet

*PROSAFE* « 2002-2003 », dirigé par *E. Campo*, qui a permis de développer et d'expérimenter des capteurs Infrarouges adaptés à notre problème.

Notons que *PROSAFE* est, dans ses principes, validé pour des usages « *indoor* ». Il présente des limites par défaut qui se résument à :

- l'identification des personnes présentes sur le site,
- la surveillance en extérieur,
- une procédure de validation clinique et industrielle.

Dans le but de corriger ces points, nous avons mené ce travail à travers deux projets :

Sur le projet *Homecare*, nous avons développé une méthodologie de conception d'un système de télésurveillance basé sur un réseau de capteurs multi-sensoriel. Nous avons proposé une architecture globale de ce système qui permet à plusieurs utilisateurs « médecin, aides-soignantes, familles... » de participer à sa gestion. Nous avons focalisé notre approche sur la surveillance des activités des personnes âgées dépendantes en essayant de les identifier ainsi que de les modéliser à base de critères choisis en collaboration avec le personnel médical de l'hôpital local de Caussade. Nous avons utilisé un dispositif sans fil embarqué sur la personne en fusionnant ses données avec celle des capteurs de mouvements infrarouges. Cette étape qui a été évaluée par les aides-soignantes dans le cadre de la validation des usages, nous a permis de donner une première réponse sur l'acceptabilité de ce type de dispositif par le patient et sa famille. Au niveau industriel, la validation a été menée par nos partenaires du projet « *Atos Origin* » qui nous ont guidé dans la conception de l'infrastructure informatique afin de proposer un produit fini répondant aux exigences industrielles. Ce travail a été complété par une étude du marché qui vise à trouver un modèle économique réaliste à la solution proposée.

Sur le projet *BéA*, nous avons proposé l'architecture d'un système de détection de situations critiques afin de sécuriser l'environnement de vie des personnes physiquement autonomes à faible dépendance. Les types de situations sont divers et liés à la fois à la forme de dépendance, au stade d'avancement de la maladie, à l'environnement humain (aidant familial, assistance à domicile, assistance en institution...), et à l'environnement géographique (maison en campagne, appartement en ville, institution médicalisée ou non...). D'un point de vue de la sécurité des personnes, nous avons toutefois réduit le problème en sécurisant à la fois les lieux de vie et les trajets entre ces lieux de vie.

Dans le but de couvrir une majorité de cas critiques, notre travail était de concevoir et réaliser un système capable d'assurer toutes ces fonctions de sécurité : deux scénarios ont été explorés en parallèle, chacun apportant une solution pour un ensemble défini de cas pouvant finalement converger vers une solution unique générique :

- La détection des situations critiques en intérieur : on cible ici une population de personnes dépendantes passant du temps à domicile ou en institution avec des aidants. Le système doit permettre de mieux sécuriser le lieu et de fournir un soutien aux aidants. Ce système devrait notamment pouvoir détecter qu'une personne accède à un endroit désigné comme « interdit » ou tente de fuguer.
- La détection de situations critiques liées à des déplacements quotidiens. On cible ici une population de personnes physiquement autonomes. Le système doit libérer la personne et ses proches de l'angoisse liée à la peur de se perdre. Ce système doit alors pouvoir détecter les déplacements assimilables à de l'errance et détecter les trajets non routiniers.

Dans le premier chapitre, nous avons mis en l'évidence les besoins de l'aide au maintien à domicile des personnes âgées dépendantes, et l'urgence de trouver des solutions technologiques. Nous avons présenté un état de l'art des principaux travaux conduits dans le monde sur les systèmes de surveillance des activités. Ces travaux sont basés principalement sur la mise en œuvre des technologies de l'électronique et de la communication pour permettre de sécuriser l'environnement des personnes âgées. Nous avons constaté que ces travaux s'organisent généralement en deux catégories :

- Systèmes de surveillance en *indoor* : Afin d'identifier les activités, ces systèmes s'intéressent au suivi de la mobilité de la personne et son interaction avec son environnement. Pour cela, ils utilisent des capteurs ambiants passifs ou embarqués. En revanche, ce type de système a des difficultés à distinguer le sujet observé en présence d'autres personnes. En outre, ils ne peuvent pas surveiller la personne à l'extérieur de son domicile.
- Systèmes de surveillance en *outdoor* : Généralement pour assurer cette fonctionnalité, ces systèmes utilisent la technologie *GPS* pour localiser le sujet. Ils visent principalement les personnes âgées à faible dépendance. Ils sont donc liés généralement à un centre de téléassistance afin d'apporter de l'aide en cas de danger « errance, fugue, chute... ». Ces systèmes ne s'adaptent pas au changement des déplacements habituels de la personne étant donné qu'ils se configurent

manuellement, ce qui engendre souvent des fausses alertes à chaque fois que la personne change de domicile par exemple.

Les objectifs de notre travail ont été détaillés à la fin de ce chapitre : la mise en œuvre en situation réelle de notre système de surveillance avec l'intégration d'un dispositif d'identification embarqué sur la personne nous permet d'assurer un suivi 24h/24, un élargissement de la surveillance vers l'extérieur et la présentation d'une validation technique et clinique sous la forme d'un retour d'expérimentation de la part du personnel médical.

Le second chapitre a été consacré à l'étape de conception du système de surveillance *Homecare*. Nous avons présenté une architecture matérielle et logicielle optimisée qui permet d'assurer à la fois la sécurisation et la fluidité de traitement des données. Cette mise en œuvre technologique nous a permis de présenter notre approche par rapport à :

- L'identification de la personne surveillée grâce à un dispositif sans fil embarqué. Ce dispositif a été conçu de façon à être le moins intrusif et le moins consommateur possible. Nous avons toutefois engagé une étude d'acceptabilité du dispositif en condition d'usages.
- La fusion et la gestion des données collectées grâce à une architecture optimisée et non-centralisée, ce qui facilite à la fois le déploiement du système dans divers environnements et pour plusieurs personnes, et le calcul des seuils sur un temps réduit.

La fusion des données des capteurs (*RF* et *IR*) suivant l'algorithme déjà décrit a permis de proposer des fonctionnalités de détection d'urgence et de suivi des critères qui sont déterminants du comportement des personnes âgées dépendantes (agitation nocturne, détection du lever/coucher, temps de séjour dans la salle de bain, immobilité, déviation dans les activités de déplacement, chute, fugue, distance parcourue, vitesse de déplacement...). Nous nous sommes ensuite intéressés à la modélisation des déplacements du patient par apprentissage. Ce concept repose sur une discrimination de ces déplacements selon les habitudes de la personne, dans le but de calculer l'indicateur (*R*) représentatif de la déviation comportementale.

Dans le troisième chapitre, nous avons proposé une architecture système déployée sur un serveur central. Cette architecture qui a permis la sauvegarde et la gestion des données de géolocalisation par tranche horaire, est conçue autour d'un algorithme auto-adaptatif pour la détection d'errance chez les personnes fragiles. Cette solution est basée sur l'apprentissage et le réapprentissage des trajets routiniers de la personne, en définissant des zones de sécurité

(zones *Geofencing*) en fonction des tranches horaires. L'avantage de notre approche est que la méthode de classification utilisée (*Mean-shift*) ne nécessite pas de paramètres en entrée. De plus, elle s'adapte automatiquement aux nouvelles données de localisation recueillies.

Le chapitre quatre a été consacré aux résultats des expérimentations afin de valider le concept de surveillance proposé (*Homecare* et *BéA*). Ces expérimentations se sont déroulées suivant deux volets :

- A l'unité « Alzheimer » de l'hôpital de *Caussade* pendant 6 mois ; nous avons mis en place un processus de validation d'usage qui se compose à la fois d'une évaluation des alertes par les aides-soignantes et d'une validation de calcul différé par les médecins.
- Au laboratoire ; une plateforme de test a été installée (réseau de capteurs *Wi-Fi*) afin de tester l'algorithme auto-adaptatif pour la détection d'errance en intérieur et essentiellement en extérieur.

Sur le premier point, les résultats de l'évaluation obtenue nous ont permis, d'une part de présenter l'efficacité et la fiabilité du système grâce aux performances de détection des événements établis comparés aux observations directes des aides-soignantes, et d'autre part, d'identifier les critères actimétriques pertinents et les besoins réels d'une surveillance de personnes dépendantes vivant en institutions. Nous en avons conclu que :

- Le système *Homecare* peut localiser, identifier la personne en temps réel, et détecter les cas critiques (chute, fugue, déviation comportementale, agitation nocturne). Toutefois, le système nécessite des efforts de fiabilisation supplémentaires afin d'atteindre des performances de détection acceptables par le personnel soignant (3 à 5 fausses alertes par jour pour l'ensemble des personnes suivies).
- Les alertes d'immobilité prolongée et de temps de séjour dans la salle de bain ont peu servi dans ce cas, étant donné que le patient est généralement assisté par les aides-soignantes.
- La mesure de déviation du comportement ainsi que l'identification de ses activités nocturnes ont permis de détecter les déambulations du patient à l'intérieur et à l'extérieur de sa chambre. Ces mesures ont été corrélées avec les mesures de la distance parcourue pour avoir une évaluation plus précise de la déambulation et ainsi permettre, par exemple au personnel soignant, d'adapter l'apport calorique nécessaire au patient. Le dispositif porté (*Tag*) a été globalement bien toléré (6 mois) par le patient avec des recommandations de miniaturisation (1 cm\*1 cm serait acceptable).

Sur le deuxième point (*BéA*), les tests effectués en laboratoire ont démontré qu'il est possible de détecter les cas d'errance des personnes fragiles grâce à l'approche proposée. En effet, Les tests effectués on laboratoire ont permis d'identifier tous les cas d'errance produits (sensibilité 100%) avec un nombre de fausses alertes nulle (100% spécificité). Cette approche nécessite une période d'apprentissage minimum des trajets routiniers de la personne. Elle peut être également intégrée à la solution *Homecare* si on envisage une installation à domicile de ce système. Pour cela, une technologie de localisation en extérieur sera nécessaire (*GPS*). Toutefois, il convient de poursuivre le travail de validation de la solution *BéA* en situation réelle.

Finalement, l'objectif de notre travail était de proposer un dispositif d'identification et de localisation afin de répondre au besoin de surveillance qui se résume en quatre questions : qui est le patient observé ? que fait-il ? Où ? Quand ? Nous avons essayé de concevoir un système le moins intrusif possible, en tenant compte des besoins exprimés par les utilisateurs du système. Nous avons ainsi étendu la surveillance de l'*indoor* vers l'*outdoor* grâce à un modèle d'apprentissage auto-adaptatif qui permet de détecter les cas d'errance ou de fugue selon les habitudes du patient.

La phase suivante est de poursuivre le travail d'amélioration et de validation. Il faut envisager de lancer une double validation :

- Du côté clinique en évaluant le bénéfice médical rendu comparativement aux pratiques en cours tout en améliorant la sensibilité et la spécificité du système. Compte tenu de la variabilité des situations et des usages, c'est probablement quelques centaines de cas qu'il faudrait considérer, sur des périodes longues de plus d'une année.

Du côté des usagers et de leurs familles pour s'assurer de l'acceptabilité du système à plus grande échelle.

## Références

- [1] « Institut national de la statistique et des études économiques ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.insee.fr/fr/>. [Consulté le: 05-sept-2012].
- [2] L. P. Fried, C. M. Tangen, J. Walston, A. B. Newman, C. Hirsch, J. Gottdiener, T. Seeman, R. Tracy, W. J. Kop, G. Burke, et others, « Frailty in older adults evidence for a phenotype », *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, vol. 56, n° 3, p. M146–M157, 2001.
- [3] S. Bonhomme, « Méthodologie et outils pour la conception d'un habitat intelligent », Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT, 2008.
- [4] O. Kwon, J. M. Shim, et G. Lim, « Single activity sensor-based ensemble analysis for health monitoring of solitary elderly people », *Expert Systems with Applications*, vol. 39, n° 5, p. 5774-5783, avr. 2012.
- [5] C.-C. Yang et Y.-L. Hsu, « Remote monitoring and assessment of daily activities in the home environment », *Journal of Clinical Gerontology and Geriatrics*, vol. 3, n° 3, p. 97-104, sept. 2012.
- [6] M. Chan, E. Campo, et D. Estève, « PROSAFE, a multisensory remote monitoring system for the elderly or the handicapped », *Proceedings of the ICOST'2003*, p. 89-95, sept. 2003.
- [7] G. LeBellego, N. Noury, G. Virone, M. Mousseau, et J. Demongeot, « A Model for the Measurement of Patient Activity in a Hospital Suite », *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 10, n° 1, p. 92-99, janv. 2006.
- [8] V. H. Cheung, L. Gray, et M. Karunanithi, « Review of Accelerometry for Determining Daily Activity Among Elderly Patients », *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 92, n° 6, p. 998-1014, juin 2011.
- [9] G. Virone, D. Istrate, M. Vacher, N. Noury, J. F. Serignat, et J. Demongeot, « First steps in data fusion between a multichannel audio acquisition and an information system for home healthcare », in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE*, 2003, vol. 2, p. 1364–1367.
- [10] LAAS-CNRS, « Prosafe : système d'aide au suivi des personnes âgées ». [En ligne]. Disponible sur: <http://spiderman-2.laas.fr/PROSAFE/>.
- [11] S. Bonhomme, E. Campo, D. Estève, et J. Guennec, « An extended PROSAFE platform for elderly monitoring at home », in *Engineering in Medicine and Biology*



- Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE, 2007, p. 4056–4059.*
- [12] E. Campo, S. Bonhomme, D. Estève, et J. Guennec, « Help to monitoring of elderly by using physical activities criteria », 6th International Conference of International Society for Gerontechnology », *ISG'08, Pise, Toscane, Italie*, juin 2008.
- [13] C. Mailhes, B. Comet, H. de Bernard, E. Campo, A. Prieto, et S. Bonhomme, « Telemedicine applications in OURSES project », in *Satellite and Space Communications, 2008. IWSSC 2008. IEEE International Workshop on*, 2008, p. 124–128.
- [14] W. Bourennane, Y. Charlon, M. Chan, D. Estève, et E. Campo, « Integration of wearable device with actimetry system for monitoring alzheimer's patients », *International Conference on Wearable Micro and Nano Technologies for Personalised Health (pHealth 2011), Lyon (France)*, juin 2011.
- [15] E. Campo, M. Chan, W. Bourennane, et D. Estève, « Remote monitoring platform for prevention and detection of elderly deviant behaviour », *3rd international Conference: E-Medical Systems*, mai 2010.
- [16] Réseau Senior Strategic, « Le vieillissement de la population dans le monde : Pour comprendre les plus de 50 ans ».
- [17] Department of Economic and Social Affairs: Population Division, « World Population Prospects “The 2010 Revision” », United Nations, 2011.
- [18] M. Chan, E. Campo, D. Estève, et J.-Y. Fourniols, « Smart homes — Current features and future perspectives », *Maturitas*, vol. 64(2), p. 90-97, 2009.
- [19] European Commission, « Structure et vieillissement de la population », oct-2011. [En ligne]. Disponible sur : [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Population\\_structure\\_and\\_ageing/fr](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Population_structure_and_ageing/fr).
- [20] A. Mortel et O. Verber, « Société et veilliissement », Rapport du groupe n°1, juin 2011.
- [21] J.-M. Charpin et C. Tlili, « Perspectives démographiques et financières de la dépendance », juin 2011.
- [22] M. Duée et C. Rebillard, « La dépendance des personnes âgées : une projection en 2040 », *Données sociales—La société française, édition*, 2006.
- [23] Drees, « Enquête sur l'allocation personnalisée d'autonomie », Statistiques au 1er trimestre 2011 n° 2, 2011.

- [24] J.-M. Charpin et C. Tlili, « Perspectives démographiques et financières de la dépendance », Rapport du groupe de travail, juin 2011.
- [25] M. Weber et M. Yves Vérollet, « La dépendance des personnes âgées “Les avis du conseil économique social et environnemental” », Journal officiel de la république française, 2011.
- [26] J. Walston, E. C. Hadley, L. Ferrucci, J. M. Guralnik, A. B. Newman, S. A. Studenski, W. B. Ershler, T. Harris, et L. P. Fried, « Research Agenda for Frailty in Older Adults: Toward a Better Understanding of Physiology and Etiology: Summary from the American Geriatrics Society/National Institute on Aging Research Conference on Frailty in Older Adults », *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 54, n° 6, p. 991-1001, juin 2006.
- [27] N. Ahmed, R. Mandel, et M. J. Fain, « Frailty: An Emerging Geriatric Syndrome », *The American Journal of Medicine*, vol. 120, n° 9, p. 748-753, sept. 2007.
- [28] L. P. Fried, L. Ferrucci, J. Darer, J. D. Williamson, et G. Anderson, « Untangling the concepts of disability, frailty, and comorbidity: implications for improved targeting and care », *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, vol. 59, n° 3, p. M255–M263, 2004.
- [29] C. M. Boyd, Q.-L. Xue, C. F. Simpson, J. M. Guralnik, et L. P. Fried, « Frailty, hospitalization, and progression of disability in a cohort of disabled older women », *The American Journal of Medicine*, vol. 118, n° 11, p. 1225-1231, nov. 2005.
- [30] A. Loones, E. David-Alberola, P. Jauneau, et M. Anfotti, « La fragilité des personnes âgées: Perceptions et mesures », Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observation des Conditions de Vie, Département «Evaluation des politiques sociales», Cahier de recherche 256, déc. 2008.
- [31] C. N. Scanail, S. Carew, P. Barralon, N. Noury, D. Lyons, et G. M. Lyons, « A Review of Approaches to Mobility Telemonitoring of the Elderly in Their Living Environment », *Annals of Biomedical Engineering*, vol. 34, n° 4, p. 547-563, mars 2006.
- [32] Institute of Medicine, « Crossing The Quality Chasm: A New Health System for the 21 st Century ». mars-2001.
- [33] I. Korhonen, J. Parkka, et M. Van Gils, « Health monitoring in the home of the future », *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*, vol. 22, n° 3, p. 66–73, 2003.

- [34] R. Steele, A. Lo, C. Secombe, et Y. K. Wong, « Elderly persons' perception and acceptance of using wireless sensor networks to assist healthcare », *International Journal of Medical Informatics*, vol. 78, n° 12, p. 788-801, déc. 2009.
- [35] M. Laila, V. Rialle, C. Brissonneau, D. Princiaux, C. Secheresse, D. Boukhalifa, O. Magnillat, et A. Franco, « Utility and feasibility of an electronic tracking system for prevention of wandering in demented elderly patients », *Proceeding of 6th conference of the International Society for Gerontechnology, ISG08*, vol. 7, n° 2, juin 2008.
- [36] B. G. Celler, T. Hesketh, W. Earnshaw, et E. Ilsar, « An instrumentation system for the remote monitoring of changes in functional health status of the elderly at home », in *Engineering in Medicine and Biology Society, 1994. Engineering Advances: New Opportunities for Biomedical Engineers. Proceedings of the 16th Annual International Conference of the IEEE*, 1994, p. 908-909.
- [37] U. S. P. H. S. O. of the S. General, C. for D. Control, P. (US), P. C. on P. Fitness, et S. (US), *Physical activity and health: a report of the Surgeon General*. Jones & Bartlett Learning, 1996.
- [38] K. Doughty, K. Cameron et P. Garner, « Three generations of telecare of the elderly », *Journal of Telemedicine and Telecare*, vol. 2, n° 2, p. 71-80, 1996.
- [39] J. Porteus et S. Brownsell, « Exploring technologies for independent living for older people: A report on the Anchor Trust/BT Telecare », Anchor Trust, ISBN 0906178 56 8, 2000.
- [40] A. K. Clark, « EMMA: A comprehensive alarm system for the elderly and infirm and disabled who live at home », *Res. Soc. Health Care*, n° 15, p. 205-27, 1979.
- [41] I. McLuckie, « Advanced communications for sheltered housing », *Electronics and Power*, vol. 30, n° 5, p. 374-378, 1984.
- [42] B. G. Celler, Member, IEEE, Ilsar.E.D, et Earnshaw. W, « Preliminary results of a pilot project on remote monitoring of functional health status in the home », *18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Amsterdam*, vol. 1.1.6: Home Health Monitoring, 1996.
- [43] A. J. Sixsmith, « An evaluation of intelligent home monitoring system », *Journal of Telemedicine and Telecare*, n° 6, p. 63-72, 2000.
- [44] K. Cameron, K. Hughes, et K. Doughty, « Reducing fall incidence in community elders by telecare using predictive systems », in *Engineering in Medicine and Biology Society, 1997. Proceedings of the 19th Annual International Conference of the IEEE*, 1997, vol. 3, p. 1036-1039.

- [45] K. Doughty et K. Cameron, « Continuous assessment of the risk of falling using telecare », *Journal of Telemedicine and Telecare*, vol. 4, p. 88-90, mars 1998.
- [46] N. Noury, G. Virone, et T. Creuzet, « The health integrated smart home information system (HIS2): rules based system for the localization of a human », *2nd Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology*, p. 318-321, 2002.
- [47] J. Biswas, M. Jayachandran, L. Shue, W. Xiao, et P. Yap, « An extensible system for sleep activity pattern monitoring », in *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information, 2007. 3rd International Conference on ISSNIP, 2007*, p. 561-565.
- [48] A. J. Bharucha, V. Anand, J. Forlizzi, M. A. Dew, C. F. Reynolds, S. Stevens, et H. Wactlar, « Intelligent Assistive Technology Applications to Dementia Care: Current Capabilities, Limitations, and Future Challenges », *American Journal of Geriatric Psychiatry*, vol. 17, n° 2, p. 88-104, févr. 2009.
- [49] R. Suzuki, M. Ogawa, S. Otake, T. Izutsu, Y. Tobimatsu, T. Iwaya, et S.-I. Izumi, « Rhythm of daily living and detection of atypical days for elderly people living alone as determined with a monitoring system », *Journal of Telemedicine and Telecare*, vol. 12(4):208-214, juin 2006.
- [50] M. Rowe, S. Lane, et C. Phipps, « CareWatch: A home monitoring system for use in homes of persons with cognitive impairment », *Topics in geriatric rehabilitation*, vol. 23, n° 1, p. 3, 2007.
- [51] M. A. Rowe, A. Kelly, C. Horne, S. Lane, J. Campbell, B. Lehman, C. Phipps, M. Keller, et A. P. Benito, « Reducing dangerous nighttime events in persons with dementia using a nighttime monitoring system », *Alzheimer's & dementia: the journal of the Alzheimer's Association*, vol. 5, n° 5, p. 419, 2009.
- [52] A. Hauptmann, T. Kanade, S. Stevens, C. Atkeso, et A. Bharucha, « CareMedia: Automated Video and Sensor Analysis for Geriatric Care », *CareMedia*. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.informedia.cs.cmu.edu/caremedia/index.html>.
- [53] Pervaya, « SALVEO : Un système intelligent de suivi et de téléassistance de personnes âgées vivant seules à domicile », *SALVEO*. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.pervaya.com/index.html>.
- [54] M. Chan, D. Estève, C. Escriba, et E. Campo, « A review of smart homes—Present state and future challenges », *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 91, n° 1, p. 55-81, juill. 2008.
- [55] Vivago Pro, « Vivago CARE », *Vivago CARE 8001 Wrist Care*. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.vivago.com/pro/products/vivago-care-8001/>.

- [56] A. Sarela, I. Korhonen, J. Lotjonen, M. Sola, et M. Myllymaki, « IST Vivago®-an intelligent social and remote wellness monitoring system for the elderly », in *Information Technology Applications in Biomedicine, 2003. 4th International IEEE EMBS Special Topic Conference on*, 2003, p. 362–365.
- [57] Vigilio Telemedical, « Vigi'Fall : Solutions télémédicales fiables pour une vie plus sûre », *Vigilio Telemedical*. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.vigilio.eu/>.
- [58] Vigilio Telemedical, « Vigi91: Prévenir rapidement les secours en cas de chute chez les personnes âgées ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.vigi91.eu/>.
- [59] N. Noury, A. Fleury, P. Rumeau, A. K. Bourke, G. O. Laighin, V. Rialle, et J. E. Lundy, « Fall detection-principles and methods », in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*, 2007, p. 1663–1666.
- [60] F. Bloch, V. Gautier, N. Noury, J. E. Lundy, J. Poujaud, Y. E. Claessens, et A. S. Rigaud, « Evaluation under real-life conditions of a stand-alone fall detector for the elderly subjects », *Annals of physical and rehabilitation medicine*, vol. 54, n° 6, p. 391–398, 2011.
- [61] A. Almudevar, A. Leibovici, et A. Tentler, « Home monitoring using wearable radio frequency transmitters », *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 42, n° 2, p. 109–120, 2008.
- [62] M. Chan, D. Estève, J.-Y. Fourniols, C. Escriba, et E. Campo, « Smart wearable systems: Current status and future challenges », *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 56, n° 3, p. 137-156, nov. 2012.
- [63] M. Chan, E. Campo, et D. Estève, « Smart homes - indoor and outdoor experiments », *Clinician and Technology*, vol. 41, n° 3, p. 4, nov. 2011.
- [64] Bosch, « Système de télé-assistance Bosch », *La sécurité au bout du doigt : Le poste de télé-assistance Bosch HTS3100*.
- [65] Orange, « le bracelet-téléphone Columba : Retrouver les malades d'Alzheimer en situation d'errance ». [En ligne]. Disponible sur: [http://mobile.orange.fr/content/ge/high/rubriques/apropos/orange\\_care/bracelet.html](http://mobile.orange.fr/content/ge/high/rubriques/apropos/orange_care/bracelet.html).
- [66] Senior actu.com, « Columba : le bracelet “anti-fugue” pour les malades d'Alzheimer prend son envol en France », *Senior actu.com*. [En ligne]. Disponible sur: [http://www.senioractu.com/Columba-le-bracelet-anti-fugue-pour-les-malades-d-Alzheimer-prend-son-envol-en-France\\_a5754.html](http://www.senioractu.com/Columba-le-bracelet-anti-fugue-pour-les-malades-d-Alzheimer-prend-son-envol-en-France_a5754.html).
- [67] Bluelinea, « BlueGard: Braacelet de géoassistance ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.bluelinea.com/Bluelinea/BlueGard.html>.

- [68] Gérontechnologie.net, « BlueGard de Bluelinea : Service de Géolocalisation », *Gérontechnologie.net*. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.gerontechnologie.net/bluegard/311964>.
- [69] Société IGL, « La balise Aloïze ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.igl-france.com/alo45.php>.
- [70] H. Ogawa, Y. Yonezawa, H. Maki, H. Sato, et W. M. Caldwell, « A mobile phone-based Safety Support System for wandering elderly persons », in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2004. IEMBS'04. 26th Annual International Conference of the IEEE*, 2004, vol. 2, p. 3316–3317.
- [71] S. Matsuoka, H. Ogawa, H. Maki, Y. Yonezawa, et W. M. Caldwell, « A new safety support system for wandering elderly persons », in *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC*, 2011, p. 5232 -5235.
- [72] F. Miskelly, « A novel system of electronic tagging in patients with dementia and wandering », *Age and ageing*, vol. 33, n° 3, p. 304–306, 2004.
- [73] F. Miskelly, « Electronic tracking of patients with dementia and wandering using mobile phone technology », *Age and ageing*, vol. 34, n° 5, p. 497–499, 2005.
- [74] F. Sposaro, J. Danielson, et G. Tyson, « iWander: an Android application for dementia patients », in *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2010, vol. 1, p. 3875–8.
- [75] D. Heckerman, « Bayesian networks for data mining », *Data mining and knowledge discovery*, vol. 1, n° 1, p. 79–119, 1997.
- [76] E. Campo, M. Chan, W. Bourennane, et D. Estève, « Behaviour monitoring of the elderly by trajectories analysis », *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2010), Buenos Aires (Argentina)*, p. 2230-2233, août 2010.
- [77] M. Chan, H. Bocquet, E. Campo, F. Steenkeste, et J.Pous, « Remote monitoring system to measure physical mobility and transfer of elderly people », *Euroconference « Keeping the Elderly Mobile », Kerkrade (Hollande)*, p. 93-97, juin 1998.
- [78] M. Chan, H. Bocquet, F. Steenkeste, E. Campo, B. Vellas, E. Laval, et J. Pous, « Remote monitoring system for the assessment of nocturnal behavioral disorders in the demented », *European Medical & Biological Engineering Conference (EMBE'99), Vienne (Autriche)*, vol. 2, p. 904-905, nov. 1999.
- [79] M. Chan, D. Estève, et E. Campo, « Elderly daily activities habits or lifestyle in their natural environments », *The 4th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA 2011), Crète (Grèce)*, 4p, mai 2011.



- [80] D. Estève, « Conclusions de la commission d'experts "Habitat Intelligent" », *CNRS-SPI, Développement des Soins à Domicile*, mars 1997.
- [81] SysML France, « Introduction — UML SysML ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.uml-sysml.org/uml>. [Consulté le: 06-mars-2013].
- [82] SysML Partners, « SysML Open Source Specification Project-SysML.org ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.sysml.org/>. [Consulté le: 06-mars-2013].
- [83] Société française de gériatrie et gérontologie, « Évaluation et prise en charge des personnes âgées faisant des chutes répétées », Haute Autorité de Santé (HAS), Recommandations de bonnes pratiques professionnelles, avr. 2009.
- [84] Life Assistance, « Coussin Alarme », *Etude et fabrication de systèmes de surveillance*.
- [85] Y. Charlon, W. Bourennane, et E. Campo, « Mise en oeuvre d'une plateforme de suivi de l'actimétrie associée à un système d'identification », présenté à Symposium Mobilité et Santé (SMS 2011), Ax les Thermes (France), 2011.
- [86] W. Bourennane, F. Bettahar, et E. Campo, « Self adaptive trajectory learning for monitoring the elderly wandering », in *Proceedings of the IASTED International Conference Biomedical Engineering (BioMed 2013)*, Innsbruck, Austria, 2013, p. 254-259.
- [87] CEDOM-TANIT, « Détecteurs PIR de présence », *TANIT : L'alarme qui s'impose*.
- [88] F. Evennou, « Techniques et technologies de localisation avancées pour terminaux mobiles dans les environnements indoor », Université Joseph-Fourier-Grenoble I, 2007.
- [89] G. Virone, N. Noury, et J. Demongeot, « A system for automatic measurement of circadian activity deviations in telemedicine », *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 49, n° 12, p. 1463-1469, déc. 2002.
- [90] G. Virone, M. Alwan, S. Dalal, S. Kell, B. Turner, J. Stankovic, et R. Felder, « Behavioral patterns of older adults in assisted living », *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions*, vol. 12, p. 387-398, 2008.
- [91] A. Santiana-Diaz, B. Jammes, S. Boverie, A. Giralt, H. Poulard, et J. Thomas, « Driver vigilance monitoring - new developments within the awake project », *5th IFAC International Symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Applications (SICICA'2003)*, Aveiro (Portugal), p. 139-144, juill. 2003.
- [92] S. Bonhomme, E. Campo, D. Estève, et J. Gunec, « Methodology and tools for the design and verification of complex systems: application for smart homes », *Intelligent Systems (IS'08)*, Varna (Bulgarie), p. 24-2-24-7, sept. 2008.

- [93] Agrimip Sud-Ouest Innovation, « Ecosilo : une protection raisonnée des céréales contre les insectes dans les silos de stockage », *Agriculture/Agroalimentaire*. [En ligne]. Disponible sur : <http://competitivite.gouv.fr/poles-en-action/fiche-projet-popup-18/ecosilo-178.html?cHash=cf40f15f6edfcabd037adf5fedbe8ec1>.
- [94] Z. Zhang, K. Huang, et T. Tan, « Comparison of similarity measures for trajectory clustering in outdoor surveillance scenes », in *Pattern Recognition, 2006. 18th International Conference on ICPR, 2006*, vol. 3, p. 1135–1138.
- [95] B. Morris et M. Trivedi, « Learning trajectory patterns by clustering: Experimental studies and comparative evaluation », in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. IEEE Conference on CVPR, 2009*, p. 312–319.
- [96] Z. Fu, W. Hu, et T. Tan, « Similarity based vehicle trajectory clustering and anomaly detection », in *Image Processing, 2005. IEEE International Conference on ICIP, 2005*, vol. 2, p. II–602.
- [97] E. J. Keogh et M. J. Pazzani, « Scaling up dynamic time warping for datamining applications », in *Proceedings of the sixth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, 2000*, p. 285–289.
- [98] D. Buzan, S. Sclaroff, et G. Kollios, « Extraction and clustering of motion trajectories in video », in *Pattern Recognition, 2004. Proceedings of the 17th International Conference on ICPR, 2004*, vol. 2, p. 521–524.
- [99] F. Duchêne, « Fusion de données multicapteurs pour un système de télésurveillance médicale de personnes à domicile », Université Joseph-Fourier-Grenoble I, 2004.
- [100] G. Cleuziou, « Une méthode de classification non-supervisee pour l'apprentissage de règles et la recherche d'information », Thèse doctorat, Université d'Orléans, Orléans, 2004.
- [101] A. K. Jain, M. N. Murty, et P. J. Flynn, « Data clustering: A review », *ACM computing surveys (CSUR)*, vol. 31, n° 3, p. 264–323, 1999.
- [102] P. H. . Sneath et R. R. Sokal, *Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification*, San Francisco, W. H. Freeman and Compagny. 1973.
- [103] A. . Dempster, N. . Laird, et D. . Rubin, « Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm », *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, vol. 39, n° 1, p. 1–38, 1977.
- [104] J. P. Benzecri, *L'analyse des données*, Paris, Dunod. 1973.
- [105] J. MacQueen, « Some methods for classification and analysis of multivariate observations », in *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability, 1967*, vol. 1, p. 14.



- [106] M. Benkaci, « Surveillance des Systèmes Mécatronique d'Automobile par des Méthodes d'Apprentissage », Université de Toulouse, 2011.
- [107] J. Sablier, N. Vuillerme, Y. Fouquet, P. Daynes, et V. Rialle, « Assessment of a GPS-based tracking system for people with dementia: Prevention, intervention, and safe wandering », *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, vol. 54, Supplement 1, n° 0, p. e59-e60, oct. 2011.
- [108] Pole Star, « Indoor positioning solution “Nao Campus” », *Pole Star*. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.polestar.eu/en/>.
- [109] « Algorithmes | Géodésie ». [En ligne]. Disponible sur: <http://geodesie.ign.fr/index.php?page=algorithmes>. [Consulté le: 25-juin-2013].
- [110] K. Fukunaga et L. Hostetler, « The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition », *Information Theory, IEEE Transactions on*, vol. 21, n° 1, p. 32-40, 1975.
- [111] E. Parzen, « On estimation of a probability density function and mode », *Annals of Mathematical Statistics*, vol. 33, n° 3, p. 1065-1076, sept. 1962.
- [112] D. Comaniciu et P. Meer, « Mean shift: A robust approach toward feature space analysis », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, n° 5, p. 603-619, 2002.
- [113] K. I. Kim, K. Jung, et J. H. Kim, « Texture-based approach for text detection in images using support vector machines and continuously adaptive mean shift algorithm », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, n° 12, p. 1631-1639, 2003.
- [114] D. Comaniciu, V. Ramesh, et P. Meer, « Kernel-based object tracking », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, n° 5, p. 564-577, 2003.
- [115] P. J. Rousseeuw, « Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis », *Journal of computational and applied mathematics*, vol. 20, p. 53-65, 1987.
- [116] G. Yongli, O. S. Yin, et P. Y. Han, « State of the art: a study on fall detection », in *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2012.
- [117] A. Lombardi, M. Ferri, G. Rescio, M. Grassi, et P. Malcovati, « Wearable wireless accelerometer with embedded fall-detection logic for multi-sensor ambient assisted living applications », in *IEEE Sensors, 2009*, p. 1967-1970.
- [118] N. Noury et T. Hadidi, *Habitats Intelligents en Santé : Modélisation des Activités du sujet âgé à Domicile*. Editions universitaires européennes, 2012.

- [119] N. Noury, T. Hadidi, M. Laila, A. Fleury, C. Villemazet, V. Rialle, et A. Franco, « Level of activity, night and day alternation, and well being measured in a smart hospital suite », *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS 2008. 30th Annual International Conference of the IEEE*, p. 3328–3331.
- [120] « Fondation Mérieux – Fondation Mérieux », *Une fondation familiale dédiée à la lutte contre les maladies infectieuses*. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.fondation-merieux.org/?lang=fr>. [Consulté le: 03-juill-2013].
- [121] J.-P. Thomesse, « Les technologies de l’information intégrées aux services des soins à domicile : le projet TISSAD », *Télémédecine et e-santé*, p. 27-34, 2002.



## Annexe 1

## 1. Déclaration normale de la CNIL



Cadre réservé à la CNIL  
N° d'enregistrement :

## DÉCLARATION NORMALE

(Article 23 de la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée en 2004)

### 1 Déclarant

**Nom et prénom ou raison sociale :** GROUPEMENT D'INTERET PUBLIC RESEAU DE TELEMEDECINE ET ES@NTE MIDI PYRENEES  
**Service :** PROJET HOMECARE  
**Sigle (facultatif) :** GIP RTES@ MP  
**N° SIRET :** 183109107 00015  
**Code APE :** 7219Z Recherche-développement en sciences physiques et naturelles  
**Adresse :** GIP RTES@, HOTEL DIEU ST JACQUES, 2, RUE VIGUERIE, TSA 80035  
**Code postal :** 31059 - **Ville :** TOULOUSE CEDEX 9  
**Adresse électronique :** PROJET-MEDICO-SOCIAL@TELESANTE-MIDIPYRENEES.FR  
**Téléphone :** 0561778639  
**Fax :** 0561778642

### 2 Service chargé de la mise en œuvre du traitement (lieu d'implantation)

(Veuillez préciser quel est le service ou l'organisme qui effectue, en pratique, le traitement)  
 Si le traitement est assuré par un tiers (prestataire, sous-traitant) ou un service différent du déclarant, veuillez compléter le tableau ci-dessous :

**Nom et prénom ou raison sociale :** CAMPO - Eric  
**Service :**  
**Adresse :** LAAS CNRS 7 AV. DU COLONEL ROCHE  
**Code postal :** 31077 **Ville :** TOULOUSE CEDEX 4  
**Adresse électronique :** CAMPO@LAAS.FR  
**Sigle (Facultatif) :**  
**N° SIRET :**  
**Code NAF :**  
**Téléphone :** 05.61.33.64.27  
**Fax :** 05.62.74.75.87

### 3 Finalité du traitement

Quelle est la finalité ou l'objectif de votre traitement (exemple : gestion du recrutement) :  
 IL S'AGIT D'UN PROJET DE RECHERCHE TECHNOLOGIQUE VISANT A ETUDIER SI IL EST POSSIBLE AU MOYEN DE CAPTEURS D'ENVIRONNEMENT (INFRA ROUGES PASSIFS ET RADIOFREQUENCES) DE DECRIRE L'ACTIVITE DE PATIENTS D'UN SERVICE DE SOINS DE LONGUE DUREE GERIATRIQUE DANS LE BUT DE DECLANCHER DES ALARMES SUR DES SUSPICIONS D'ALTERATION DE L'ETAT DE SANTE OU DE SITUATIONS DE DANGER POUR LE PATIENT.

Quelles sont les personnes concernées par le traitement ?

Salariés  Usagers  Adhérents  Clients (actuels ou potentiels)  Visiteurs  
 Autres (Veuillez préciser) :

Si vous utilisez une technologie particulière, merci de préciser laquelle (facultatif) :

Dispositif sans contact (Ex. : RFID, NFC)  Mécanisme d'anonymisation  
 Carte à puce  Géo localisation (Ex. : GPS couplé avec GSM/GPRS)  
 Vidéosurveillance  Nanotechnologie  
 Autres (précisez) :

## 4 Données traitées

Catégories de données	Origine (comment avez vous collecté ces données ?)	Durée de conservation (combien de temps conserverez-vous les données sur support informatique?)	Destinataires (veuillez indiquer les organismes auxquels vous transmettez les données)
<b>État-civil, Identité, Données d'identification.</b>	<input type="checkbox"/> Directement auprès de la personne concernée <input type="checkbox"/> De manière indirecte. Précisez :	<input type="checkbox"/> 1 mois <input type="checkbox"/> 3 mois <input type="checkbox"/> 1 an <input type="checkbox"/> Pendant la durée de la relation contractuelle <input type="checkbox"/> Autres, précisez	Destinataires :
<b>Vie personnelle</b> <i>(habitudes de vie, situation familiale, etc.)</i>	<input type="checkbox"/> Directement auprès de la personne concernée <input checked="" type="checkbox"/> De manière indirecte. Précisez : Résultats des mesures des capteurs d'environnement	<input type="checkbox"/> 1 mois <input type="checkbox"/> 3 mois <input type="checkbox"/> 1 an <input checked="" type="checkbox"/> Pendant la durée de la relation contractuelle <input type="checkbox"/> Autres, précisez	Destinataires : Chercheurs du LAAS/CNRS et du GIP RTeS@MP impliqués dans le projet. Dossier médical du patient concerné (Hôpital Local de Caussade).
<b>Vie professionnelle</b> <i>(CV, scolarité, formation professionnelle, distinctions, etc.)</i>	<input type="checkbox"/> Directement auprès de la personne concernée <input type="checkbox"/> De manière indirecte. Précisez :	<input type="checkbox"/> 1 mois <input type="checkbox"/> 3 mois <input type="checkbox"/> 1 an <input type="checkbox"/> Pendant la durée de la relation contractuelle <input type="checkbox"/> Autres, précisez	Destinataires :
<b>Informations d'ordre économique et financier</b> <i>(revenus, situation financière, situation fiscale, etc.)</i>	<input type="checkbox"/> Directement auprès de la personne concernée <input type="checkbox"/> De manière indirecte. Précisez :	<input type="checkbox"/> 1 mois <input type="checkbox"/> 3 mois <input type="checkbox"/> 1 an <input type="checkbox"/> Pendant la durée de la relation contractuelle <input type="checkbox"/> Autres, précisez	Destinataires :
<b>Données de connexion</b> (adresse IP, logs, etc.)	<input type="checkbox"/> Directement auprès de la personne concernée <input type="checkbox"/> De manière indirecte. Précisez :	<input type="checkbox"/> 1 mois <input type="checkbox"/> 3 mois <input type="checkbox"/> 1 an <input type="checkbox"/> Pendant la durée de la relation contractuelle <input type="checkbox"/> Autres, précisez	Destinataires :
<b>Données de localisation</b> <i>(déplacements, données GPS, GSM, etc.)</i>	<input type="checkbox"/> Directement auprès de la personne concernée <input type="checkbox"/> De manière indirecte. Précisez :	<input type="checkbox"/> 1 mois <input type="checkbox"/> 3 mois <input type="checkbox"/> 1 an <input type="checkbox"/> Pendant la durée de la relation contractuelle <input type="checkbox"/> Autres, précisez	Destinataires :

## 5 Données sensibles

*En grisé apparaissent les données « sensibles », dont le traitement est particulièrement encadré par la loi : ces données ne peuvent être enregistrées dans un traitement que si elles sont absolument nécessaires à sa réalisation.*

<b>N° de sécurité sociale (NIR)</b>	<input type="checkbox"/> Directement auprès de la personne concernée  <input type="checkbox"/> De manière indirecte. Précisez :	<input type="checkbox"/> 1 mois <input type="checkbox"/> 3 mois <input type="checkbox"/> 1 an <input type="checkbox"/> Pendant la durée de la relation contractuelle <input type="checkbox"/> Autres, précisez	Destinataires :
<b>Infractions, condamnations, mesures de sûreté (réservé aux auxiliaires de justice)</b>	<input type="checkbox"/> Directement auprès de la personne concernée  <input type="checkbox"/> De manière indirecte. Précisez :	<input type="checkbox"/> 1 mois <input type="checkbox"/> 3 mois <input type="checkbox"/> 1 an <input type="checkbox"/> Pendant la durée de la relation contractuelle <input type="checkbox"/> Autres, précisez	Destinataires :
Opinions philosophiques, politiques, religieuses, syndicales, vie sexuelle, données de santé, origine raciale ou ethnique	<input type="checkbox"/> Directement auprès de la personne concernée  <input type="checkbox"/> De manière indirecte. Précisez :	<input type="checkbox"/> 1 mois <input type="checkbox"/> 3 mois <input type="checkbox"/> 1 an <input type="checkbox"/> Pendant la durée de la relation contractuelle <input type="checkbox"/> Autres, précisez	Destinataires :

## 6 Echanges de données/interconnexions

Procédez-vous à des échanges de données ?  Non  
 Oui, avec d'autres services au sein de l'organisme déclarant  
 Oui, avec des organismes extérieurs au déclarant

## 7 Sécurité/Confidentialité

Veuillez cocher les cases correspondant aux mesures de sécurité que vous prenez :

- L'accès physique au traitement est protégé (bâtiment ou local sécurisé)
- Un procédé d'authentification des utilisateurs est mis en œuvre (ex. : mot de passe individuel, carte à puce, certificat, signature...)
- Une journalisation des connexions est effectuée
- Le traitement est réalisé sur un réseau interne dédié (non relié à internet)
- Si des données sont échangées en réseau, le canal de transport ou les données sont chiffrés



## 8 Transferts de données hors de l'Union européenne

Transmettez-vous tout ou partie des données traitées vers un pays situé hors de l'Union européenne et n'assurant pas un niveau de protection suffisant (cf liste à jour de ces pays sur la carte interactive du site internet de la CNIL [www.cnil.fr/vos-responsabilites/le-transfert-de-donnees-a-letranger/](http://www.cnil.fr/vos-responsabilites/le-transfert-de-donnees-a-letranger/))

Oui  Non

! Si oui, merci de compléter l'annexe « Transfert de données hors de l'Union européenne »

## 9 Le droit d'accès des personnes fichées

Le droit d'accès est le droit reconnu à toute personne d'interroger le responsable d'un traitement pour savoir s'il détient des informations sur elle, et le cas échéant d'en obtenir communication. Cf. article 32 de la loi + modèles de mentions dans la notice

Comment informez-vous les personnes concernées par votre traitement de leur droit d'accès ?

- Mentions légales sur formulaire  Affichage  
 Mentions sur site internet  Envoi d'un courrier personnalisé  
 Autres mesures, précisez : information orale directe au sein de l'Hôpital de Caussade

Veillez indiquer les coordonnées du service chargé de répondre aux demandes de droit d'accès :

<b>Nom et prénom ou raison sociale :</b> GROUPEMENT D'INTERET PUBLIC RESEAU DE TELEMEDECINE ET ES@NTE MIDI PYRENEES	<b>Sigle (facultatif) :</b> GIP RTES@ MP
Service : PROJET HOMECARE	<b>N° SIRET :</b> 183109107 00015
<b>Adresse :</b> GIP RTES@, HOTEL DIEU ST JACQUES, 2, RUE VIGUERIE, TSA 80035	<b>Code NAF :</b> 7219Z Recherche-développement en sciences physiques et naturelles
<b>Code postal :</b> 31059 <b>Ville :</b> TOULOUSE CEDEX 9	<b>Téléphone :</b> 0561778639
<b>Adresse électronique :</b> PROJET-MEDICO-SOCIAL@TELESANTE-MIDIPYRENEES.FR	<b>Fax :</b> 0561778642

## 10 Personne à contacter (facultatif)

Veillez indiquer ici les coordonnées de la personne qui a complété ce questionnaire au sein de votre organisme et qui répondra aux éventuelles demandes de compléments que la CNIL pourrait être amenée à formuler

<b>Nom et prénom :</b> RUMEAU Pierre	
Service : PROJET HOMECARE	
<b>Adresse :</b> 2, RUE VIGUERIE, TSA 80035	
<b>Code postal :</b> Ville :	<b>Téléphone :</b> 0561778639
<b>Adresse électronique :</b> PROJET-MEDICO-SOCIAL@TELESANTE-MIDIPYRENEES.FR	<b>Fax :</b> 0561778642
<b>Raison sociale :</b> GROUPEMENT D'INTERET PUBLIC RESEAU DE TELEMEDECINE ET ES@NTE MIDI PYRENEES	<b>N° SIRET :</b> 183109107 00015
<b>Sigle (facultatif) :</b> GIP RTES@ MP	<b>Code NAF :</b> 7219Z Recherche-développement en sciences physiques et naturelles
<b>Adresse :</b> GIP RTES@, HOTEL DIEU ST JACQUES, 2, RUE VIGUERIE, TSA 80035	
<b>Code postal :</b> 31059 <b>Ville :</b> TOULOUSE CEDEX 9	<b>Téléphone :</b> 0561778639
<b>Adresse électronique :</b> PROJET-MEDICO-SOCIAL@TELESANTE-MIDIPYRENEES.FR	<b>Fax :</b> 0561778642

## II Signature du responsable

Je m'engage à ce que le traitement décrit par cette déclaration respecte les exigences de la loi du 6 janvier 1978 modifiée.

Personne responsable de l'organisme déclarant.

**NOM et prénom** : RUMEAU Pierre

Date le : 15-02-2011

Fonction : Chargé de mission

Signature

**Adresse électronique** : PROJET-MEDICO-  
SOCIAL@TELESANTE-MIDIPYRENEES.FR

Les informations recueillies font l'objet d'un traitement informatique destiné à permettre à la CNIL l'instruction des déclarations qu'elle reçoit. Elles sont destinées aux membres et services de la CNIL. Certaines données figurant dans ce formulaire sont mises à disposition du public en application de l'article 31 de la loi du 6 janvier 1978 modifiée. Vous pouvez exercer votre droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent en vous adressant à la CNIL: 8 rue Vivienne - CS 30223 - 75083 Paris cedex 02.

Exemplaire à conserver - ne pas envoyer



## 2. Lettre de consentement



*"Le Jardin d'Emilie"*

*Unité de soins de longue durée - Maison de Retraite*

Madame, Monsieur,

Dans le cadre de la politique d'amélioration de la qualité des soins qu'ils donnent à leurs patients, les Jardins d'Émilie participent à la Recherche Médicale. Nous avons choisi de participer au projet Homecare.

Certaines chambres et les lieux de vie (parties communes, salle à manger, jardin de promenade) du service sont équipés de capteurs qui mesurent l'activité des personnes de façon anonyme. Nous espérons que nous pourrions en déduire de altérations de santé des patients nécessitant l'intervention du médecin ou du personnel soignant et détecter des situations où une intervention rapide du personnel soignant est nécessaire.

**Dans cette première phase, il s'agit d'une simple observation non intrusive ; les patients et leurs familles ne doivent pas en espérer de bénéfice personnel direct.**

Les données concernant spécifiquement un patient, telles que son activité dans sa chambre, seront versées au dossier médical sous la responsabilité du Dr. Alain Péborde.

Pour en permettre l'interprétation, les données pourront être transmises, sous forme anonyme, à l'équipe des Pr. Daniel Estève et Eric Campo, du laboratoire LAAS du CNRS, à Toulouse.

Vous avez accès à toutes les données vous concernant conformément à la réglementation en vigueur (réglementation sur les dossiers médicaux et loi Informatique et Libertés). Pour cela vous pouvez vous adresser au Dr. Péborde directement ou par l'entremise de nos équipes.

**Le Dr. Péborde, Mme Estève et toute notre équipe, nous tenons à votre disposition pour tout renseignement supplémentaire ou pour recueillir tout commentaire que vous souhaiteriez porter à la connaissance de l'équipe de recherche.**

Je soussigné, .....

en tant que .....

suis au courant et accepte que .....

soit accueilli et hébergé dans un service participant au projet Homecare,

fait à Caussade, le :

Signature :

## Annexe 2

1. Tableau de suivi étude *Homecare*

Tableau de suivi étude <i>Homecare</i> (événement survenus la semaine précédente)			
Code patient	Réfèrent		
	Semaine du :		
	Oui/Non	Cotation	Observations
Chute			
Agressivité/Agitation			
Déambulation			
Inversion du rythme nyctéméral			
Modification du comportement			
Confusion			
Infection			
Modification des conduites alimentaires			
Autre évènement			
NPI			
Cohen Mansfield			
Modification thérapeutique			

## 2. Plan d'accompagnement du projet personnalisé

Plan d'accompagnement du projet personnalisé			Plan d'accompagnement		
VOICLA29			VOICLA29		
Référénts: 29			Validation signature du résident ou responsable légal		
Projet personnalisé	Problèmes potentiels ou réels/besoins	Plan établi le 10/10/2012	Lu et approuvé	Signature:	
	Communication	Actualisations:			
	perte de poids				
	déambulation				
	sommeil				
dynamique familiale					
Communication	<b>Objectifs</b>	<b>Evaluations objectif par résident</b>	<b>Ajustement des actions</b>	<b>Professionnels</b>	<b>Evaluation</b>
	Favoriser des temps de communication		Augmenter les interactions quotidiennes	IDE Animatrice Psychologue AS ASH	
Perte de poids	Evaluer sa perte de poids		Bilan Surveillance alimentaire Surveillance de la déambulation Prise en charge nutritionnelle	IDE Animatrice Psychologue AS ASH	
Déambulation	Connaitre plus finement sa déambulation		Etude des résultats <i>Homecare</i>	IDE Animatrice Psychologue AS ASH	
Sommeil	Evaluer son sommeil		Etude des résultats Homecare Evaluation de la quantité de sommeil	IDE Animatrice Psychologue AS ASH	
Dynamique familiale	Favoriser les liens familiaux		Ecoute Informations	IDE Animatrice Psychologue AS ASH	

## Annexe 3

## 1. Inventaire Neuropsychiatrique (NPI-R)

Inventaire Neuropsychiatrique (NPI-R)				
Nom Prénom Date		Âge		
Items	NA	Absent	Gravité	Retentissement
	X	0	1- Léger 2- Moyen 3- Important	0- Pas du tout 1- Minimum 2- Légèrement 3- Modérément 4- Sévèrement 5- Très sévèrement
Idées délirantes				
Hallucinations				
Agitation - Agressivité				
Dépression - Dysphorie				
Anxiété				
Exaltation de l'humeur				
Apathie- Indifférence				
Irritabilité - Instabilité				
Comportement moteur				
Sommeil				
Troubles de l'appétit				
Score	0	0	0	0
<b>SCORE TOTAL</b>		<b>0 /36</b>		

## 2. Echelle de Cornell (EDD)

Echelle de Cornell (EDD)			
	Nom Prénom	Date	Âge
Items	NA	Absent	Gravité
	X	0	1-modéré 2-sévère
<b>A- Symptômes relatifs à l'humeur</b>			
1- Anxiété, ruminations, soucis			
2- Tristesse, expression triste, voix triste, larmoiement			
3- Absence de réaction aux événements agréables			
4- Irritabilité, facilement contrarié, humeur changeante			
<b>B- Troubles du comportement</b>			
5- Agitation, ne peut rester en place, se tortille			
6- Ralentissement, lenteur des mouvements, du débit verbal, des réactions			
7- Nombreuses plaintes somatiques (sauf gastro exclusif)			
8- Perte d'intérêt, moins impliqué dans les activités habituelles (changement brusque de moins d'un mois)			
<b>C- Symptômes somatiques</b>			
9- Perte d'appétit, mange moins que d'habitude			
10- Perte de poids (coter 2 si sup à 2,5kg en 1 mois)			
11- Manque d'énergie, se fatigue facilement (moins d'un mois)			
<b>D- Fonctions cycliques</b>			
12- Variation de l'humeur dans la journée, symptômes plus marqué le matin			
13- Difficultés d'endormissement, plus tard que d'habitude			
14- Réveils nocturnes fréquents			
15- Réveil matinal précoce, plus tôt que d'habitude			
<b>E- Troubles idéatoires</b>			
16- Suicide, pense que la vie ne vaut pas la peine d'être vécue, souhaite mourir			
17- Autodépréciation, s'adresse des reproches à lui-même, peu d'estime de soi			
18- Pessimisme, anticipation du pire			
19- Idées délirantes congruentes à l'humeur, idées délirante de pauvreté, de maladie ou de perte			
Score	0	0	0
SCORE TOTAL		0 /38	
Le score seuil pour penser à un syndrome dépressif est de 10			

## Annexe 4

### 1. Résultats du questionnaire soignant

*Homecare*

Jun 2013

Le questionnaire a été remis à l'ensemble de l'équipe soignante de jour concerné par le projet *Homecare* c'est-à-dire 18 personnes. **Quinze questionnaires ont été complétés.**

#### 1-Avez-vous reçu une information sur le projet *Homecare* ?

oui	non
11	4

#### 2-Pour vous ce type de dispositif est :

Très utile	utile	Moyennement utile	inutile
2	11	2	

#### 3-Selon vous, qu'est-ce que le projet apporte/peut apporter au patient ?

« Le projet sert à évaluer les chutes, à les quantifier à un moment de la journée ou dans la nuit. »

« Ce projet peut apporter et apporte de la sécurité au patient. »

« Un suivi et une recherche sur sa maladie, sécurité »

« Peut apporter au patient plus de sécurité »

Le mot « Sécurité » est revenu à 5 reprises

« Diminution de la mise en danger »

« Le projet nous donne une information exacte sur la déambulation jour et nuit »

« Meilleur suivi de la déambulation du patient et permet d'adapter les soins, le traitement, la prise en charge du patient. »

« Il peut apporter un suivi au niveau de la déambulation, savoir son quotidien, ses déplacements donc être plus proche de son état général, fatigue, douleur. »

#### 4-Selon vous, qu'est-ce que le projet apporte/peut apporter à une équipe de soins ?

« Surveillance (géolocalisation de la personne). Alerte immédiate pour les chutes. Analyse des distances parcourues permet de comprendre, d'analyser le comportement et parfois d'ajuster les thérapeutiques. »

« Savoir si le patient n'a pas chuté et où il se situe dans le service. »

« Le projet sert à comptabiliser l'agitation et les chutes à un moment précis et répétitif et de se fait se poser les questions (pourquoi ?, comment ?)

« De l'aide pour essayer de comprendre les mouvements et l'agitation des personnes diurnes et nocturnes. »

« Ce projet peut apporter à l'équipe de soins une meilleure surveillance du patient et une intervention plus rapide. »

« Suivi alimentaire, traitement, surveillance du sommeil afin de mettre en place un suivi adapté. »

« Un point positif pour la prise en charge »

« Confirme la déambulation et le nombre impressionnant de km fait le jour et la nuit. »

« Permettre de prendre en charge le patient dans les moments où il est le plus agité. Alerte chutes »

« Meilleure prise en charge du résident, face à un suivi global de la déambulation. »

« Aider à comprendre comment le patient fonctionne, sa façon de déambuler, les heures critiques à laquelle il est le plus à même de se déplacer. »

« L'équipe de soin peut prendre en charge le patient plus rapidement en fonction de ses mouvements et chutes au cours de la journée et de la nuit. »

« Sécurité »

« Savoir où se trouve le résident. »

« Alerte »

#### **5-Le risque que ce dispositif puisse peser sur l'intimité du patient est-il selon vous :**

Très important	important	Modéré	nul
		12	

#### **6-Pouvez-vous évaluer le risque que ce dispositif fait peser sur la relation de soin :**

Très important	important	Modéré	nul
		8	5

#### **7-Souhaiteriez-vous bénéficier de ce type de dispositif, quand il sera au point, pour quelqu'un de votre famille qui en aurait besoin ?**

oui	non
13	2

« A condition de bien définir pour qui et pourquoi on met ce dispositif. »

**8-Souhaiteriez-vous pouvoir bénéficier de ce type de dispositif pour vous-même si, un jour vous en aviez besoin ?**

oui	non
13	2

**9-Souhaitez-vous faire des commentaires supplémentaires ?**

« L'idée est très bonne mais pas encore opérationnelle. A l'avenir cette méthode peut-être très utile en milieu hospitalier ou peut-être à domicile. »

« Il serait intéressant pour le personnel d'avoir une alerte la nuit lorsque le résident se lève de son lit afin d'avoir un accompagnement immédiat et d'éviter chute, déambulation, angoisse... »



## 2. Questionnaire d'évaluation du système *Homecare*

### I) Acceptabilité du Patch

- |    |  | Oui                                 | Non                                 |
|----|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. | Est-ce que les patients tentent d'enlever le patch ? <i>C'est arrivé</i>   | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 2. | Est-ce qu'ils ressentent une gêne ou douleur liée au port du patch ?   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3. | Quelle est la durée moyenne de port du pansement ?   | <i>1 semaine</i>                    |                                     |
| 4. | A quel moment de la journée vérifiez-vous que le patch est bien en place ?   |                                     |                                     |
|    | - Le matin   | <input checked="" type="checkbox"/> |                                     |
|    | - Le midi  | <input type="checkbox"/>            |                                     |
|    | - L'après midi   | <input type="checkbox"/>            |                                     |
|    | - Le soir  | <input checked="" type="checkbox"/> |                                     |
|    | - Au moment de la toilette   | <input checked="" type="checkbox"/> |                                     |
|    | - Autre  | <input type="checkbox"/>            |                                     |
| 5. | Quels sont les retours de la famille vis-à-vis de cette expérience ?<br><i>-Quelques questions sur la progression de l'expérimentation</i> |                                     |                                     |
| 6. | Avez-vous d'autres remarques concernant le patch ?<br><i>-Nécessite plus de miniaturisation</i>  |                                     |                                     |

### II) Critères d'inclusions/exclusions

7. Quels sont les critères d'inclusion des patients pour participer à l'expérimentation *Homecare*?
- Déambulation jour et nuit*
  - Risque de chute*
  - Chambre seule*
8. Quels sont les critères d'exclusion des patients pour participer à l'expérimentation *Homecare*?
- Chambre double*
  - Non déambulant*
  - Pas de risques de chute*

**III) Fiabilité d'utilisation de *Homecare*****III-1) Partie Temps réel****9. Alerte chute,**

	Oui	Non
Cette fonction est-elle utilisée ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous constaté de vraies alertes ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Avez-vous constaté des fausses alertes?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le nombre de fausses alertes est-il acceptable ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Remarques liées à cette fonction :

**-Fiabilité à améliorer.**

**10. Alerte activité nocturne,**

	Oui	Non
Cette fonction est-elle utilisée ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous constaté de vraies alertes ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous constaté des fausses alertes?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Le nombre de fausses alertes est-il acceptable?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Remarques liées à cette fonction :

**11. Alerte immobilité salle de bain,**

	Oui	Non
Cette fonction est-elle utilisée ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Avez-vous constaté de vraies alertes ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous constaté des fausses alertes?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le nombre de fausses alertes est-il acceptable ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Remarques liées à cette fonction :

**-Alerte peu utilisée.**

**12. Alerte temps de séjour,**

	Oui	Non
Cette fonction est-elle utilisée ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Avez-vous constaté de vraies alertes ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous constaté des fausses alertes?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le nombre de fausses alertes est-il acceptable ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Remarques liées à cette fonction :

**-Alerte peu intéressante en institution.**

**13. Alerte fugue,**

	Oui	Non
Cette fonction est-elle utilisée ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous constaté de vraies alertes ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Avez-vous constaté des fausses alertes?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le nombre de fausses alertes est-il acceptable ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Remarques liées à cette fonction :

-Alerte pertinente.

**14. Localisation temps réel avec ordinateur local,**

	Oui	Non
Utilisez-vous le plan virtuel de l'hôpital pour localiser le patient ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Remarques liées à la localisation à l'aide du plan :

-Utile.

**15. Quelles sont les fonctionnalités temps réel les plus utiles ?**

-Alerte chute, alerte fugue, activité (agitation) nocturne, localisation du patient.

**16. Quelles sont les fonctionnalités temps réel les moins utiles ?**

-Alerte immobilité, alerte temps de séjour.

**III-2 Partie Temps différé****17. Pertinence des mesures,**

	Oui	Non
Distance ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vitesse ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Activité au lit ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Remarques et recommandations liées à la pertinence des mesures :

La mesure des 3 activités est pertinente

La mesure de la distance et de l'activité semble fiable

La mesure de la vitesse n'est pas vérifiable

**18. Calculs et affichage,**

	Oui	Non
L'interface homme-machine proposée, est-elle ergonomique ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'application temps différé est-elle complète ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quelles sont les fonctionnalités manquantes ?		
<b>-Possibilité de sauvegarder les graphiques sous format PDF.</b>		
Le temps de calcul est-il long ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le code couleur adopté, a-t-il une utilité ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les courbes affichées, sont-elles en adéquation avec le phénomène surveillé ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les Fiches patient sont-elles utilisables ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quelles sont vos recommandations pour améliorer ces fiches ?		
L'interface proposée pour afficher les activités du groupe, est-elle suffisante (décrit elle d'une manière simple l'activité du groupe ?)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Remarques et suggestions :

**IV) Intérêt du système HOMECARE****19. Quels seraient vos freins ou vos motivations dans l'utilisation du système Homecare ?**

**-Aide dans la prise en charge.**

**20. Quels mots, adjectifs vous viennent à l'esprit pour décrire le système Homecare ?**

**- Futuriste**

**- Aidant**

**21. Avez-vous identifié des bénéfices et avantages précis dans l'utilisation du système Homecare ?**

**- Dans sa globalité**

**-La mesure de l'activité déambulation permet d'adapter la thérapeutique, l'intervention de l'équipe et l'alimentation,**

**-Favorise la prévention,**

**- Pour certains aspects**

**-Localisation des patients.**

22. **Quels sont les fonctionnalités les plus utiles/appréciables et les plus utilisées ?**
- Alerte chute,
  - Alerte fugue,
  - Activité nocturne (agitation),
  - Mesure de la déambulation,
  - Détection de la déviation comportementale,
23. **Quelles sont les fonctionnalités les moins utiles/appréciables et les moins utilisées ?**
- Alerte immobilité prolongée,
  - Alerte temps de séjour,
24. **Quelles fonctionnalités ajouteriez-vous à *Homecare* ?**
- Capteur permettant de voir si la personne se lève dans la nuit afin d'intervenir pour le réorienter.
25. **Quels sont les points à améliorer dans le système *Homecare* ?**
- Alertes
26. **Pourquoi sont-ils à améliorer ?**
- Fiabilité insuffisante.
27. **Que pensez-vous de l'ergonomie des applications ?**
- Temps réel (les écrans cadres et contenus, les fonctionnalités, la navigation)
  - Bien
  - Temps différé (les écrans cadres et contenus, les fonctionnalités, la navigation)
  - Bien
28. **Quelles sont les remarques que vous pouvez nous communiquer concernant l'utilisation du système *Homecare* ?**
- Une évaluation de l'acceptabilité du système avec une population ne présentant pas ou peu de troubles cognitif serait intéressante.

## V) La pertinence de *Homecare*

**Ce système peut-il apporter de l'aide au maintien a domicile des personnes âgées, si oui pourquoi ?**

-Oui avec adaptation.

**Quels sont ces avantages ?**

-Alerte chute, fugue, activité nocturne, mesure de la déambulation.

**Quels sont ces inconvénients ?**

## VI) Les propositions d'améliorations de *Homecare*

**Quels sont les points à améliorer dans le système *Homecare* ?**

-Fiabilité

**Quelles seraient les fonctionnalités à ajouter ?**

-Capteur permettant de signaler que la personne se lève.

Merci beaucoup pour votre participation à cette étude d'évaluation.



## Publications personnelles

Publications personnelles dans 5 conférences internationales, 1 revue internationale, 2 revues nationales, 1 symposium national :

W. Bourennane, Y. Charlon, F. Bettahar, M. Chan, D. Estève, E. Campo, « Ambient Intelligence for Monitoring Alzheimer Patients », *International Journal of E-Health and Medical Communications*, 4(1), p.23-35, Janvier-Mars 2013.

W. Bourennane, Y. Charlon, F. Bettahar, E. Campo, D. Estève, « Homecare monitoring system: A technical proposal for the safety of the elderly experimented in an Alzheimer's care unit », *Revue IRBM*, Vol.34, N°2, p.92-100, Avril 2013.

Y. Charlon, W. Bourennane, F. Bettahar, E. Campo, « Activity monitoring system for elderly in a context of smart home », *Revue IRBM*, Vol.34, N°1, p.60-63, Mars 2013.

W. Bourennane, F. Bettahar, et E. Campo, « Self adaptive trajectory learning for monitoring the elderly wandering », in *Proceedings of the IASTED International Conference Biomedical Engineering (BioMed 2013)*, Innsbruck, Austria, Février 2013, p.254-259.

Y. Charlon, W. Bourennane, E. Campo, « Mise en oeuvre d'une plateforme de suivi de l'actimétrie associée à un système d'identification », *Symposium Mobilité et Santé (SMS 2011)*, Ax les Thermes (France), Septembre 2011, 12p.

W. Bourennane, Y. Charlon, M. Chan, D. Estève, et E. Campo, « Integration of wearable device with actimetry system for monitoring alzheimer's patients », *International Conference on Wearable Micro and Nano Technologies for Personalised Health (pHealth 2011)*, Lyon (France), juin 2011.

E. Campo, M. Chan, W. Bourennane, et D. Estève, « Behaviour monitoring of the elderly by trajectories analysis », *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2010)*, Buenos Aires (Argentine), p.2230-2233, août 2010.

E. Campo, M. Chan, W. Bourennane, et D. Estève, « Remote monitoring platform for prevention and detection of elderly deviant behaviour », *3rd international Conference: EMedical Systems*, mai 2010.

M. Chan, E. Campo, W. Bourennane, D. Estève, « Connectivity for the indoor and outdoor elderly people safety management: an example from our current project », *European Symposium on Biomedical Engineering (ESBME 2010)*, Chalkidiki (Grece), 28-29 Mai 2010, 4p.