



HAL
open science

Reconnaissance des comportements d'une personne âgée vivant seule dans un habitat intelligent pour la santé

Xuan Hoa Binh Le

► **To cite this version:**

Xuan Hoa Binh Le. Reconnaissance des comportements d'une personne âgée vivant seule dans un habitat intelligent pour la santé. Automatique / Robotique. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2008. Français. NNT: . tel-00362826

HAL Id: tel-00362826

<https://theses.hal.science/tel-00362826>

Submitted on 19 Feb 2009

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.

**UNIVERSITE JOSEPH FOURIER – GRENOBLE 1
SCIENCES – TECHNOLOGIES & MEDECINE**

**THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER**

**Discipline : Automatique – Productique
Présentée et soutenue publiquement
par**

Xuan Hoa Binh LE

Le 8 décembre 2008

**RECONNAISSANCE DES COMPORTEMENTS D'UNE PERSONNE AGÉE
VIVANT SEULE DANS UN HABITAT INTELLIGENT POUR LA SANTE**

Directrices de thèse : Maria DI MASCOLO, Alexia GOUIN

COMPOSITION DU JURY :

M. Alain FRANCO	Président
M. Eric CAMPO	Rapporteur
M. Alain GUINET	Rapporteur
M. Norbert NOURY	Examineur
Mme Maria DI MASCOLO	Directrice de thèse
Mme Alexia GOUIN	Co-directrice de thèse

Thèse préparée au sein du Laboratoire d'Automatique de Grenoble puis au GIPSA-lab

Résumé

En France, en 2008, le nombre de personnes âgées de 60 ans et plus est d'environ 13,5 millions. Il est estimé à 22,3 millions pour 2050. La plupart des personnes âgées vivent à domicile (soit 96% des personnes âgées de 60 ans et plus en 1999) et certaines vivent seules à domicile (27% en 1999). Les personnes âgées vivant seules à domicile sont sujettes à des risques liés au vieillissement à long terme (mauvaise alimentation, hygiène insuffisante, perte d'autonomie...). Pour assurer un minimum de sécurité aux personnes âgées qui souhaitent vivre le plus longtemps possible à leur domicile, on peut installer des capteurs dans leur habitat pour en faire un Habitat Intelligent pour la Santé (HIS). Cette installation permet un suivi à distance de l'occupant. Notre but est de parvenir à une reconnaissance automatique des activités réalisées quotidiennement par la personne suivie, afin de détecter une éventuelle perte d'autonomie.

Nous nous intéressons aux HIS qui ne sont équipés que de capteurs non invasifs, non intrusifs (capteurs infrarouges et/ou contacts magnétiques). Ce type d'HIS, simple et respectueux de l'intimité de la personne, fonctionne de façon passive, c'est-à-dire sans avoir besoin du concours de l'occupant. Le travail de la thèse propose une méthode de traitement de données provenant des capteurs infrarouges passifs installés dans un HIS, afin de reconnaître les activités de la vie quotidienne (ou AVQ) réalisées par la personne âgée dans une journée, et de suivre l'évolution de son état d'autonomie. Cette méthode a été implémentée en Matlab et appliquée à des données réelles provenant d'HIS occupés par des personnes âgées vivant seules.

Mots clés : habitat intelligent pour la santé, maintien à domicile de personnes âgées, évaluation de la dépendance, reconnaissance des activités de la vie quotidienne.

Abstract:

In France, in 2008, the number of people aged 60 and over is approximately 13.5 million. It is estimated at 22.3 million in 2050. Most elders live at home (96% of people aged 60 and over in 1999) and many live alone at home (27% in 1999). Elders living alone at home with aging have

some risks at long-term (bad feeding, insufficient hygiene, loss of autonomy ...). To ensure a minimum safety for elders who wish to live at home as long as possible, we can install sensors in their home to obtain a Health Smart Home, also called “Habitat Intelligent pour la Santé” (HIS). This installation allows a remote monitoring of the occupant. Through an automatic recognition of daily activities performed by the occupant, our objective is to detect a possible loss of autonomy.

We are interested in HIS which are equipped only with non-invasive, non-intrusive sensors (infra-red sensors and/or magnetic contacts). This type of HIS, simple and respectful of the privacy of the person, functions in a passive way, i.e. without needing the participation of the occupant. The work of the thesis proposes a method of processing data provided by passive infra-red sensors installed in a HIS, in order to recognize the activities of daily living (or ADL) performed by the elder in a day, and monitor the evolution of his level of autonomy. This method has been written in Matlab and applied to real data coming from HIS occupied by elders living alone.

Key words: health smart home, aging in place, autonomy measurement, recognition of activities of daily living.

Remerciements

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été effectués au sein du Laboratoire d'Automatique de Grenoble, puis de GIPSA lab. Je remercie particulièrement le responsable de la formation doctorale EEATS, Monsieur Christian Commault, de m'avoir accueilli pendant ces trois années de thèse.

J'exprime naturellement ma gratitude envers les membres de mon jury : d'abord mes deux rapporteurs, le professeur Eric Campo de l'IUT de Blagnac, laboratoire LATTIS (Laboratoire Toulousain de Technologie et d'Ingénierie des Systèmes), et le professeur Alain Guinet de l'INSA de Lyon, laboratoire LIESP (Laboratoire d'Informatique pour l'Entreprise et les Systèmes de Production), d'avoir accepté de rapporter sur mon mémoire et pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail.

Je tiens à remercier le professeur Alain Franco de l'Université Joseph Fourier, laboratoire LI2G (Laboratoire Interuniversitaire de Gérontologie de Grenoble), d'avoir accepté de présider le jury. Je remercie le professeur Norbert Noury de l'Université Claude Bernard Lyon 1, laboratoire INL (Institut des Nanotechnologies de Lyon), d'avoir examiné ce travail et de m'avoir fourni des données réelles pour valider mon travail. J'adresse mes remerciements sincères à mes deux directrices de thèse Madame Maria Di Mascolo et Madame Alexia Gouin.

Je remercie vivement Madame Patricia Reynier, responsable de la bibliothèque au LAG pour son aide et sa gentillesse.

Enfin, je remercie bien particulièrement, mes parents, ma sœur et tous ceux qui m'ont soutenu.

Binh LE

Table des matières

Résumé	ii
Remerciements.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des abréviations.....	viii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures	xi
Introduction.....	1
Chapitre 1 Présentation de la problématique	3
1.1 Contexte sociétal	3
1.1.1 Vieillessement de la population.....	3
1.1.2 Habitation.....	5
1.1.3 Autonomie, dépendance.....	6
1.1.3.1 Notions	6
1.1.3.2 Evaluation.....	6
1.1.3.3 Les aides en France	9
1.1.3.4 Besoin d'étude.....	10
1.1.4 Acceptabilité de nouvelles technologies de surveillance	11
1.2 Etat de l'art sur les technologies existantes d'aide à domicile	12
1.2.1 Technologies pour la télésurveillance médicale.....	12
1.2.2 Technologies pour renforcer la sécurité à domicile	14
1.2.3 Technologies d'assistance aux personnes âgées pour les tâches de la vie quotidienne, en soutien ou en suppléance	17
1.2.4 Technologies pour maintenir le lien social et la téléassistance	19

1.3	Habitats Intelligents pour la Santé	21
1.3.1	Notion.....	21
1.3.2	Capteurs et actionneurs	22
1.3.3	Système d'information et de communication.....	24
1.3.4	Etat de l'art sur les systèmes d'habitats intelligents pour la santé	25
1.3.4.1	Solutions d'aide pour offrir une vie plus confortable aux personnes âgées.....	28
1.3.4.2	Solutions d'aide pour assurer une vie plus sûre aux personnes âgées	29
1.3.4.3	Solutions d'aide pour faciliter le travail des référents.....	31
1.4	Objectif de la thèse	33
Chapitre 2 Support du travail		36
2.1	Habitats Intelligents pour la Santé - Plateformes	36
2.1.1	Plateforme HIS de Grenoble	36
2.1.2	Plateforme AILISA de Grenoble.....	38
2.2	Type de données	41
2.2.1	Données fournies par les capteurs	41
2.2.2	Données fournies par des questionnaires	41
2.3	Correction des données fournies par les capteurs	43
2.3.1	Principe.....	43
2.3.2	Méthode.....	45
2.4	Avantages et limitations des capteurs utilisés	50
Chapitre 3 Méthode développée		53
3.1	Principe de la méthode	53
3.2	Etape de traitement séquentiel I et N	56
3.2.1	Principe.....	56
3.2.1.1	Définition de I et N.....	56
3.2.1.2	Choix de I et N	57
3.2.2	Méthode.....	66
3.3	Etape de reconnaissance des activités	70
3.3.1	Principe.....	70
3.3.2	Méthode.....	71
3.4	Etape d'évaluation de l'évolution du rythme de vie	81

3.4.1	Observation de la tendance	81
3.4.2	Evaluation par notation	84
3.4.2.1	Principe.....	84
3.4.2.2	Notation par barème prédéfini.....	86
3.4.2.3	Notation par barème statistique.....	90
Chapitre 4 Résultats		101
4.1	Etape de correction.....	102
4.2	Etape de traitement séquentiel.....	109
4.3	Etape de reconnaissance d'activités	115
Conclusion		126
Annexe A Questionnaires.....		129
A.1	Questionnaire sur le travail des référents APA	129
A.2	Questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant	137
A.3	Fiche de journal d'activités de l'occupant.....	141
Annexe B Modèle de Markov caché.....		143
B.1	Principe du modèle de Markov caché	143
B.2	Application du modèle de Markov caché pour la reconnaissance des activités.....	145
Annexe C Liste des publications		152
Annexe D Programme de traitement		153
Bibliographie		165

Liste des abréviations

AGGIR	Autonomie Gérontologie Groupes Iso-Ressources
AILISA	Appartements Intelligents pour une Longévité Effective
APA	Allocation Personnalisée d'Autonomie
AVQ	Activités de la Vie Quotidienne / ADL Activities of Daily Living
EMS	Equipe Médico-Sociale
FDP	Fonction de Densité de Probabilité
GIR	Groupes Iso-Ressources
HIS	Habitat Intelligent pour la Santé
MMC	Modèle de Markov Caché / HMM Hidden Markov Model

Liste des tableaux

Tableau 1-1 - Répartition de la population totale par groupes d'âges en France métropolitaine (source [Insee, 2007]).....	4
Tableau 1-2 - Répartition des personnes âgées par niveau de dépendance et par habitation (source [Colin et Coutton, 2000])	5
Tableau 1-3 - Indice de Katz pour l'évaluation des activités de la vie quotidienne (source [Katz et al., 1970])	7
Tableau 1-4 - Les 10 variables discriminantes du modèle AGGIR (source [Collège national des enseignants de gériatrie, 2000])	8
Tableau 1-5 - Classification des capteurs suivant le type d'informations collectées.....	22
Tableau 1-6 - Résumé des études existantes et des types de capteurs mis en œuvre.....	27
Tableau 2-1 - Habitudes de vie de l'occupant vivant dans le premier appartement	42
Tableau 2-2 - Habitudes de vie de l'occupant vivant dans le deuxième appartement	42
Tableau 3-1 – Barème de notation	87
Tableau 4-1 - Nombre de déclenchements des capteurs et nombre de modifications pour les 90 jours.....	107
Tableau 4-2 - Nombre de déclenchements des capteurs et nombre de modifications pour les 16 jours.....	108
Tableau 4-3 - Nombre de déclenchements des capteurs et nombre d'états pour les 90 jours.....	113
Tableau 4-4 - Nombre de déclenchements des capteurs et nombre d'états pour les 16 jours.....	114
Tableau 4-5 - Tableau de contingence de l'activité A_i	115
Tableau 4-6 – Résultat de l'évaluation de la reconnaissance des 4 activités (pour les 90 jours). 117	117
Tableau 4-7 – Précision et Sensibilité de la reconnaissance des 4 activités pour les 90 jours.....	118
Tableau 4-8 - Résultat de l'évaluation de la reconnaissance des 4 activités (pour les 16 jours) .	122
Tableau 4-9 – Précision et Sensibilité de la reconnaissance des 4 activités pour les 16 jours.....	123
Tableau 4-10 - Précision et Sensibilité de la reconnaissance des activités pour les 24h de données	123

Tableau 4-11 - Résultat de l'étape de reconnaissance..... 150

Liste des figures

Figure 1-1 - Architecture du système d'information et de communication	24
Figure 1-2 - Processus de traitement et d'analyse de données	34
Figure 2-1 – Types de capteurs installés et leurs positions dans l'habitat	37
Figure 2-2 - Plan et disposition des capteurs infrarouges de la plateforme AILISA	39
Figure 2-3 - Installation des capteurs dans un appartement	40
Figure 2-4 - Exemple de données en ligne des capteurs	41
Figure 2-5 – Processus de l'étape de correction des données	45
Figure 2-6 – Algorithme de correction des incohérences TYPE 1	46
Figure 2-7 – Algorithme de correction des incohérences TYPE 2	46
Figure 2-8 - Algorithme de correction des incohérences TYPE 3 (hors salle de bain).....	47
Figure 2-9 - Déclenchements des capteurs dans la salle de bain	47
Figure 2-10 - Déclenchements des capteurs dans la salle de bain après la correction.....	48
Figure 2-11 - Déclenchements des capteurs dans la salle de bain après la correction adaptée.....	49
Figure 2-12 - Algorithme de correction des incohérences TYPE 3 dans la salle de bain.....	49
Figure 2-13 – Information pour la surveillance d'activités dans un HIS général.....	51
Figure 2-14 – Fusion d'informations pour la surveillance d'activités dans le cadre de notre étude	52
Figure 3-1 – Schéma fonctionnel de la méthode de traitement et d'analyse de données.....	53
Figure 3-2 - Schéma détaillé de la méthode de traitement et d'analyse de données.....	54
Figure 3-3 – Exemple d'une séquence d'états et d'une liste d'états	56
Figure 3-4 - Procédure de réajustement des valeurs de I&N	58
Figure 3-5 - Valeurs de I obtenues pour les 31 jours de données d'AILISA.....	59
Figure 3-6 - Histogramme de la durée entre deux déclenchements consécutifs du capteur de l'entrée (a), et du capteur de la chambre (b) (intervalle de 1 seconde).....	61
Figure 3-7 - Histogramme de la durée entre deux déclenchements consécutifs du capteur du salon (a), et du capteur des WC (b) (intervalle de 1 seconde).....	62

Figure 3-8 – Distribution supposée de la durée entre deux déclenchements consécutifs d'un capteur	63
Figure 3-9 - Valeurs de I du troisième groupe déterminées pour les 31 jours	64
Figure 3-10 - Histogramme avec l'intervalle $I = 1$ du nombre de déclenchements entre deux états immobiles consécutifs du capteur de la chambre.....	65
Figure 3-11 - Durée entre deux déclenchements consécutifs des capteurs	67
Figure 3-12 – Zoom de la Figure 3-11 sur la période 100min-130min.....	67
Figure 3-13 - Durée des états immobiles	68
Figure 3-14 - Durée des états immobiles disjoints.....	68
Figure 3-15 - Extrait de la séquence d'états et de la liste d'états obtenues.....	69
Figure 3-16 - Organigramme de la méthode de traitement séquentiel.....	69
Figure 3-17 - Organigramme de la méthode de reconnaissance d'activités par les séquences particulières et les règles pertinentes.....	72
Figure 3-18 – Recherche des occurrences de la séquence d'états correspondant à l'activité 'lever'	72
Figure 3-19 – Reconnaissance de l'activité « lever ».....	74
Figure 3-20 - Reconnaissance de l'activité « coucher ».....	75
Figure 3-21 - Reconnaissance de l'activité « manger »	76
Figure 3-22 - Reconnaissance de l'activité « sortie »	77
Figure 3-23 - Reconnaissance de l'activité « aller aux toilettes ».....	77
Figure 3-24 - Reconnaissance de l'activité « faire la toilette ».....	79
Figure 3-25 - Reconnaissance de l'activité « habillage ».....	79
Figure 3-26 – Rythme de vie de l'occupant pendant 31 jours	80
Figure 3-27 - Déviation de l'heure de lever pendant 31 jours	82
Figure 3-28 - Déviation de l'heure de coucher pendant 31 jours.....	83
Figure 3-29 - Corrélation entre le nombre de sorties, la durée des sorties et le nombre de déclenchements des capteurs pendant 31 jours à l'AILISA.....	84
Figure 3-30 - Comparaison de séquences d'activités (journée étudiée et journée type).....	86
Figure 3-31 - Pourcentage de réalisation des AVQ pendant les 31 jours du premier appartement.....	88
Figure 3-32 - Pourcentage de réalisation des AVQ pendant les 90 jours du premier appartement.....	89
Figure 3-33 - Pourcentage de réalisation des AVQ sur les 16 jours du deuxième appartement....	89
Figure 3-34 – Histogramme des heures de sortie (intervalle de 1s, 5min et 30min)	91

Figure 3-35 - FDP de l'heure de sortie avec $h=1s$, $h=5min$ et $h=30min$	92
Figure 3-36 - FDP de l'heure de lever (a) et coucher (b), l'heure de prise des repas : petit-déjeuner (c), déjeuner (d), dîner (e), l'heure de sortie (f) avec $h=30min$	95
Figure 3-37 - FDP de l'heure d'aller aux toilettes (a), l'heure de prise d'une douche (b), l'heure d'habillage (c) avec $h=60min$	96
Figure 3-38 – Organigramme de la notation utilisant le barème statistique	97
Figure 3-39 – Dédution de la densité de probabilité de l'heure de lever et coucher	98
Figure 3-40 – Score des activités d'une journée	99
Figure 3-41 – Score de réalisation de 90 jours de données du premier appartement.....	99
Figure 4-1 – Données disponibles de la plateforme AILISA.....	102
Figure 4-2 - Courbe de déclenchements des capteurs enregistrés pour le jour 81	103
Figure 4-3 - Zoom de la Figure 4-2 sur la période 7h27-7h35.....	103
Figure 4-4 - Courbe de déclenchements des capteurs après la « correction 3a ».....	104
Figure 4-5 - Courbe de déclenchements des capteurs après la « correction 3b »	104
Figure 4-6 - Courbe de déclenchements des capteurs après la « correction 1 »	105
Figure 4-7 – Courbe de déclenchements des capteurs après la « correction 2 ».....	106
Figure 4-8 - Courbe de déclenchements des capteurs après l'étape de correction.....	106
Figure 4-9 - Valeurs de I des 3 endroits pour les 90 jours étudiés.....	110
Figure 4-10 - Valeurs de I des 3 endroits pour les 16 jours et 24 heures étudiés.....	111
Figure 4-11 - Durée entre deux déclenchements consécutifs des capteurs	112
Figure 4-12 - Durée des états immobiles disjoints.....	112
Figure 4-13 - Courbe des états mobile-immobile et séquence d'états mobile-immobile obtenues	113
Figure 4-14 - Séquence des activités reconnues sur 90 jours.....	117
Figure 4-15 - Séquence d'activités reconnues au jour 88 et séquence d'activités type	121
Figure 4-16 - Séquence des activités reconnues sur 16 jours et 24 heures	122
Figure 4-17 - Probabilité de transition et d'émission d'une donnée dans le modèle de Markov caché.....	144
Figure 4-18 – Reconnaissance par MMC.....	148
Figure 4-19 - Scénario simulant la vie quotidienne d'une personne âgée	149
Figure 4-20 – Modèle de Markov caché pour l'activité 'manger'	150
Figure 4-21 – Structure du programme	153

Introduction

Selon l'étude de [Robert-Bobée, 2006], en 2050, 22,3 millions de personnes seraient âgées de 60 ans et plus en France contre 12,6 millions en 2005, et un habitant sur trois serait âgé de 60 ans et plus, contre un sur cinq en 2005. La part des jeunes diminuerait, ainsi que celle des personnes d'âge actif. Pour faire face aux conséquences sociales de ce vieillissement de la population, les scientifiques développent des technologies intelligentes permettant le maintien des personnes âgées à domicile.

Depuis 2001, le laboratoire TIMC de Grenoble, en partenariat avec l'hôpital Charles Foix d'Ivry-sur-Seine et le CHU de Toulouse, mène un projet d'appartement intelligent appelé AILISA. En 2004, deux appartements du foyer Notre Dame au centre ville de Grenoble, habités chacun par une octogénaire, étaient équipés de capteurs infrarouges passifs. Ils constituent la plateforme grenobloise du projet AILISA. Les capteurs sont disposés dans des secteurs déterminés, correspondant aux endroits où sont réalisées les activités quotidiennes. Tous les mouvements effectués par la personne sont détectés et enregistrés par les capteurs. L'un des buts des travaux menés pendant cette thèse est de valoriser des données de capteurs enregistrées dans cette plateforme.

Notre travail de thèse a pour objectif de reconnaître et évaluer les activités quotidiennes d'une personne âgée vivant seule, afin d'observer l'évolution de son état de dépendance et de signaler la détection d'une perte d'autonomie. C'est une première étape dans le développement d'un outil capable de suivre et d'évaluer automatiquement la dépendance de la personne âgée.

D'un point de vue clinique et fonctionnel, le mécanisme de la perte d'autonomie ou de l'entrée en dépendance se traduit par une perte d'activité dont les effets observables sont la réduction des actes élémentaires de la vie quotidienne. Pour évaluer l'état d'autonomie d'une personne âgée, nous nous basons sur l'accomplissement de six activités de la vie quotidienne (AVQ), définies par Katz, qui sont : toilette, habillage, aller aux toilettes, transfert, continence et alimentation. Le système de capteurs ne permet pas de reconnaître la continence. Il reste donc cinq AVQ à reconnaître automatiquement.

Dans la plateforme, un seul type de capteur comportemental, le capteur infrarouge passif, est utilisé pour suivre l'activité de l'occupant. Les données enregistrées par ce type de capteur nous permettent de déterminer où l'occupant est et à quel moment. Nous avons besoin de reconnaître cinq AVQ réalisées par l'occupant pour évaluer son niveau de dépendance. Pourtant, l'information fournie par les capteurs ne suffit pas pour inférer l'activité réalisée. Donc, les habitudes de vie de l'occupant, obtenues grâce à un questionnaire, sont utilisées comme complément d'information pour l'inférence des activités réalisées.

Les capteurs enregistrent 24h/24 les mouvements de l'occupant. A partir des fichiers issus des capteurs, nous transformons les données de mouvements en une autre forme : une séquence d'états mobile – immobile. C'est l'étape de traitement séquentiel. En nous basant sur les habitudes de vie de l'occupant, nous représentons chaque AVQ par la séquence d'états mobile – immobile lui correspondant. Ensuite, des règles de reconnaissance sont utilisées pour chercher l'occurrence des AVQ dans la séquence d'états journalière. Nous comparons la séquence d'activités reconnues à la séquence d'activités habituelles de l'occupant et donnons un score pour le niveau de ressemblance. En nous basant sur ce score, nous pouvons surveiller l'évolution du rythme de vie de l'occupant jour après jour.

Le mémoire est organisé de la manière suivante :

- Le chapitre 1 introduit le contexte sociétal, les nouvelles technologies pouvant contribuer à améliorer la vie quotidienne des personnes âgées, et situe le cas d'étude ainsi que l'objectif de la thèse.
- Le chapitre 2 présente les plateformes d'Habitat Intelligent pour la Santé utilisées dans le cadre de la thèse, le type de données fournies par les capteurs, le questionnaire sur les habitudes de vie de deux personnes âgées, ainsi que les avantages et les limitations des capteurs installés.
- Le chapitre 3 présente la méthode de traitement de données et de fusion d'informations que nous proposons pour répondre à notre cas d'étude et à notre objectif de thèse.
- Le chapitre 4 présente les résultats de la méthode présentée dans le chapitre 3.
- La conclusion du travail.

Chapitre 1

Présentation de la problématique

Ce chapitre d'introduction décrit le contexte sociétal, les nouvelles technologies pouvant contribuer à améliorer la vie quotidienne des personnes âgées, et situe le cas d'étude ainsi que l'objectif de la thèse.

1.1 Contexte sociétal

Ce paragraphe présente le contexte sociétal en France et rappelle la nécessité de mener des études pour améliorer la sécurité des personnes âgées au quotidien.

1.1.1 Vieillesse de la population

La France n'échappe pas au phénomène de vieillissement de la population constaté dans l'ensemble des pays industrialisés. Le Tableau 1-1 illustre l'augmentation de la proportion de personnes âgées de 60 ans et plus dans la population, qui est d'environ 1,2 % en 8 ans. En 2008, le nombre de personnes âgées de 60 ans et plus est d'environ 13 505 000 personnes.

D'après le calcul de Brutel [Brutel, 2002], en 2050, la France métropolitaine comptera entre 58 et 70 millions d'habitants. Plus du tiers de la population sera âgée de plus de 60 ans, contre un cinquième en 2000. La part des plus de 60 ans dans la population totale sera plus élevée que celle des moins de 20 ans. Pourtant, le nombre de places dans les établissements pour personnes âgées ne s'adapte pas à cette évolution.

Tableau 1-1 - Répartition de la population totale par groupes d'âges en France métropolitaine
(source [Insee, 2007])

Année	Population au 1 ^{er} janvier (en milliers)				Proportion (en %)		
	Moins de 20 ans	De 20 à 59 ans	60 ans et plus	Total	Moins de 20 ans	De 20 à 59 ans	60 ans et plus
2000	15 043,9	31 673,6	12 131,9	58 849,5	25,6	53,8	20,6
2001	15 053,5	31 982,3	12 213,2	59 249,1	25,4	54,0	20,6
2002	15 059,6	32 327,6	12 272,4	59 659,7	25,2	54,2	20,6
2003	15 068,5	32 620,8	12 377,3	60 066,7	25,1	54,3	20,6
2004	15 124,0	32 835,3	12 502,2	60 461,6	25,0	54,3	20,7
2005	15 150,9	33 013,0	12 660,9	60 825,0	24,9	54,3	20,8
2006	15 175,1	33 188,5	12 803,1	61 166,8	24,8	54,3	20,9
2007	15 203,8	33 197,9	13 136,5	61 538,3	24,7	54,0	21,3
2008(p)	15 219,2	33 150,5	13 505,9	61 875,8	24,6	53,6	21,8
(p) Résultats provisoires							

Les établissements d'hébergement pour les personnes âgées (EHPA) sont soit des maisons de retraite, soit des logements-foyers, soit des unités de soins de longue durée dans les hôpitaux. Ces établissements assurent essentiellement un hébergement de longue durée. D'après les données de Mesrine [Mesrine, 2003], les maisons de retraite offrent un peu plus de 430 000 places, les logements-foyers un peu moins de 160 000 places, les soins de longue durée un peu moins de 84 000 lits. En 2002, le nombre de places en établissements pour personnes âgées est en moyenne de 152 places installées pour 1 000 personnes âgées de 75 ans ou plus. Dans les années futures, l'écart entre les besoins de prise en charge des personnes âgées et le nombre de places en établissements deviendra encore plus important qu'il ne l'est actuellement.

Pour diminuer cette pression, le maintien à domicile de personnes âgées semble être une bonne solution. Le maintien à domicile s'inscrit dans une recherche d'amélioration des conditions de vie. Il permet notamment à la personne concernée de préserver au maximum ses liens familiaux et sociaux, de conserver un environnement familial, et de bénéficier d'un maximum d'indépendance.

1.1.2 Habitation

Les personnes âgées peuvent vivre seules à domicile (logement individuel), avec leurs proches ou dans des établissements, cela dépend notamment de leur niveau de dépendance. Le Tableau 1-2 présente la répartition des personnes âgées par niveau de dépendance et par habitation durant les années 1998-1999. On observe que le nombre de personnes âgées vivant à domicile est important, malgré leur niveau de dépendance.

Tableau 1-2 - Répartition des personnes âgées par niveau de dépendance et par habitation (source [Colin et Coutton, 2000])

	A domicile	En établissements pour personnes âgées ¹	Dans les autres établissements ²	Ensemble
Niveau 1 (confiné au lit ou au fauteuil)	105 000	118 000	2 000	225 000
Niveau 2 (besoin d'aide pour la toilette et l'habillement)	300 000	99 000	4 000	403 000
Total dépendance lourde	405 000	217 000	6 000	628 000
Niveau 3 (besoin d'aide pour sortir)	648 000	135 000	6 000	789 000
Total dépendance	1 053 000	352 000	12 000	1 417 000
Niveau 4 (non dépendant)	10 509 000	111 000	4 000	10 624 000
Niveau de dépendance inconnu ³	24 000	17 000	2 000	43 000
Ensemble des 60 ans et plus	11 586 000	480 000	18 000	12 084 000

1. Maisons de retraite (publiques ou privées, avec ou sans section de cure médicale) et services de soins de longue durée des hôpitaux. Les logements-foyers sont considérés comme des logements autonomes, sans que l'on puisse les isoler.

2. Établissements pour adultes handicapés, établissements psychiatriques.

3. Individus n'ayant pas répondu à la partie du questionnaire sur les incapacités.

D'après l'enquête nationale Handicap-Incapacité-Dépendance réalisée en 1998-1999 et les calculs d'Eenschooten [Eenschooten, 2001], en 1999, le nombre de personnes âgées de 60 ans et plus était de 12 084 000, avec 11 586 000 vivant à domicile (soit 96% des personnes âgées de 60 ans et plus) et 3 270 000 vivant seules à domicile (soit 27% des personnes âgées de 60 ans et plus).

plus). Entre 65 et 74 ans, il y a 98% des personnes qui vivent à domicile et moins de 1% qui vivent en établissements. Après 74 ans, 90% vivent à domicile et 8% vivent en établissements.

Les personnes âgées vivant seules à domicile sont sujettes à des risques liés au vieillissement à court terme (chute, malaise, ...) et à plus long terme (mauvaise alimentation, hygiène insuffisante, perte d'autonomie...). Le problème de perte d'autonomie chez des personnes âgées est un phénomène important que nous développerons dans le paragraphe suivant.

1.1.3 Autonomie, dépendance

1.1.3.1 Notions

D'après le Corpus de Gériatrie [Collège national des enseignants de gériatrie, 2000] :

« La dépendance est l'impossibilité partielle ou totale pour une personne d'effectuer sans aide les activités de la vie, qu'elles soient physiques, psychiques ou sociales, et de s'adapter à son environnement. »

« L'autonomie est définie par la capacité à se gouverner soi-même. »

Pour ce qui nous concerne, nous retiendrons une définition partielle, faisant abstraction des aspects philosophiques et moraux :

« La dépendance est l'impossibilité partielle ou totale pour une personne d'effectuer sans aide technique ou humaine une ou plusieurs des activités de la vie courante. »

« L'autonomie est définie comme l'absence de dépendance. »

Ces définitions sont également issues du Corpus de Gériatrie.

1.1.3.2 Evaluation

La dépendance est la conséquence d'une ou plusieurs incapacités, de déficiences, ou de maladies, conduisant à des limitations d'activité ou à des restrictions de participation [Benaim et al., 2005]. Le degré de perte d'autonomie n'est pas obligatoirement lié à la gravité du handicap ou de la maladie, il est défini par les actes que la personne ne peut plus assumer au quotidien. De nombreuses échelles ont été proposées pour évaluer la dépendance d'une personne et parmi elles certaines sont particulièrement utilisées en gériatrie. Nous citons ici deux échelles utilisables pour mesurer le degré de dépendance d'une personne âgée : l'échelle ADL (Activities of Daily Living) de Katz qui est l'échelle des activités de la vie quotidienne [Katz et al., 1963; Katz et al., 1970;

Katz, 1983] et la grille AGGIR (Autonomie Gérontologique Groupes Iso Ressources) [Collège national des enseignants de gériatrie, 2000].

1.1.3.2.1 L'échelle ADL

L'échelle ADL de Katz fait référence dans la littérature internationale comme outil d'évaluation de l'autonomie centrée sur la personne.

Les Activités de la Vie Quotidienne que nous appellerons indifféremment AVQ, ou ADL (Activities of Daily Living), sont des actes de base qu'un individu autonome est sensé effectuer dans une journée. Katz identifie 6 AVQ pour une personne : toilette, habillage, aller aux toilettes, transfert, continence et alimentation. L'évaluation des 6 AVQ est présentée dans le Tableau 1-3.

Pour chaque AVQ, on enregistre son degré de réalisation selon trois états (Autonomie – 1 point, Aide partielle – 0,5 point, Dépendant – 0 point). Le score total s'étend donc de 0 (totalement dépendant) à 6 (totalement autonome).

Tableau 1-3 - Indice de Katz pour l'évaluation des activités de la vie quotidienne (source [Katz et al., 1970])

Activité	Description	Score
Hygiène corporelle	Autonome	1
	Aide partielle pour une partie du corps	1/2
	Aide pour plusieurs parties du corps ou toilette impossible	0
Habillage	Autonome pour le choix et l'habillage	1
	S'habille mais besoin d'aide pour se chausser	1/2
	Besoin d'aide pour choisir ses vêtements, pour s'habiller ou reste partiellement ou complètement déshabillé	0
Aller aux toilettes	Autonome	1
	Doit être accompagné, besoin d'aide	1/2
	Ne va pas aux WC, n'utilise pas le bassin, l'urinoir	0
Transfert	Autonome pour se mettre au lit et se lever du lit et de la chaise sans aide	1
	Besoin d'aide	1/2
	Grabataire	0
Continence	Continent	1
	Incontinence occasionnelle	1/2
	Incontinence permanente	0
Alimentation	Autonome	1
	Aide pour couper la viande ou peler les fruits	1/2
	Aide complète ou alimentation artificielle	0
Total :		

1.1.3.2.2 La grille AGGIR

La grille AGGIR (Autonomie Gérontologie Groupes Iso-Ressources), est couramment utilisée en France pour évaluer la perte d'autonomie de personnes vivant à leur domicile ou en institution. Elle permet d'évaluer l'autonomie de la personne et de regrouper les malades en 6 Groupes Iso-Ressources (GIR) pour déterminer les ressources nécessaires à la prise en charge d'une personne dépendante.

L'évaluation se fait sur la base de dix variables (voir Tableau 1-4) relatives à la perte d'autonomie physique et psychique.

Tableau 1-4 - Les 10 variables discriminantes du modèle AGGIR (source [Collège national des enseignants de gériatrie, 2000])

Les variables	Autonomie (fait seul totalement, habituellement, correctement) = A fait partiellement = B ne fait pas = C
Cohérence Converser et/ou se comporter de façon logique et sensée	
Orientation Se repérer dans le temps, les moments de la journée et dans les lieux	
Toilette du haut et du bas du corps Assurer son hygiène corporelle (AA=A, CC=C, autres=B)	
Habillage (haut, moyen, bas) S'habiller, se déshabiller, se présenter (AAA=A, CCC=C, autres=B)	
Alimentation Se servir et manger les aliments préparés (AA=A, CC=C, BC=C, CB=C, autres=B)	
Élimination urinaire et fécale Assurer l'hygiène de l'élimination urinaire et fécale (AA=A, CC=C, AC=C, CA=C, BC=C, CB=C, autres = B)	
Transfert Se lever, se coucher, s'asseoir	
Déplacements à l'intérieur Avec ou sans canne, déambulateur, fauteuil roulant	
Déplacements à l'extérieur A partir de la porte d'entrée sans moyen de transport	

Communication à distance Utiliser les moyens de communications : téléphone, alarme, sonnette...	
---	--

Seules ces dix variables, dites « discriminantes », sont utilisées pour le calcul du GIR et servent de base à l'attribution de l'allocation personnalisée d'autonomie (APA) dont le montant dépend de la note globale obtenue.

1.1.3.3 Les aides en France

La dépendance retentit en premier lieu sur la vie quotidienne de la personne âgée. Lorsque le maintien à domicile est possible, la dépendance impose la présence d'autres personnes au domicile. Parfois, la dépendance provoque l'abandon du domicile au profit de structures institutionnelles.

En France, l'allocation personnalisée d'autonomie (APA) a été créée en 2001 pour renforcer la prise en charge des personnes en perte d'autonomie, en leur permettant de bénéficier des aides nécessaires à l'accomplissement des actes de la vie courante.

1.1.3.3.1 Allocation Personnalisée d'Autonomie

D'après la loi française [Site travail.gouv.fr, 2007], l'allocation personnalisée d'autonomie (APA) est l'allocation attribuée aux personnes âgées d'au moins 60 ans qui se trouvent en situation de perte d'autonomie (évaluée par la grille AGGIR), nécessitant une aide pour l'accomplissement des actes de la vie courante. L'APA concerne à la fois les personnes âgées résidant à domicile et celles demeurant en établissement. Seules les personnes les plus dépendantes, classées dans les groupes de dépendance (GIR) 1 à 4, peuvent bénéficier de l'APA. L'évaluation de la perte d'autonomie des personnes âgées à domicile est réalisée par une équipe médico-sociale.

1.1.3.3.2 Evaluation de la perte d'autonomie à domicile

L'équipe médico-sociale (EMS) programme une visite au domicile du demandeur APA. Le degré de perte d'autonomie est évalué par le médecin ou l'assistante sociale de l'EMS sur la base de la grille nationale AGGIR en relation avec le médecin traitant de la personne âgée. Les conditions de vie de la personne âgée sont également étudiées en vue d'élaborer un plan d'aide.

L'assistante sociale sera le référent du demandeur. Le référent va suivre l'organisation du plan d'aide. Le demandeur doit prévenir son référent de tout changement qui pourrait intervenir, notamment si le demandeur souhaite modifier le plan d'aide. Tous les ans, le référent fait avec le demandeur le bilan des aides dont le demandeur dispose ou dont le demandeur pourrait avoir besoin.

Pour mieux comprendre le travail des référents APA, nous avons élaboré un questionnaire (inspiré du questionnaire présenté par Wilson [Wilson, 2005]) sur ce sujet (voir annexe A.1). Dans le questionnaire, nous posons des questions sur leur mode de travail et leurs difficultés. Nous avons contacté le Centre Communal d'Action Sociale (CCAS) de Grenoble pour essayer d'avoir des coordonnées de référents APA. A ce moment, nous avons la réponse d'un seul référent APA.

1.1.3.4 Besoin d'étude

Le vieillissement de la population et ses conséquences sur la perte d'autonomie des personnes âgées s'annoncent comme l'un des défis majeurs de ce siècle. Il faut donc imaginer des moyens originaux pour améliorer la vie des personnes âgées confrontées, à leur domicile ou en établissement, à une perte progressive de leur autonomie.

Pour les personnes âgées dépendantes vivant seules à leur domicile, en sus des aides techniques simples telles que le déambulateur, le fauteuil roulant, la canne, le lit médicalisé ou le lève malade, les nouvelles technologies d'assistance sont attendues afin d'apporter d'autres aides ou services adaptés à leur situation et à leur environnement. Nous pouvons, par exemple, citer : les outils d'assistance cognitive (mis en œuvre pour faciliter la compréhension de messages, d'instructions, ou suppléer la déficience de la mémoire), les robots ménagers et domestiques, les robots d'assistance au déplacement...

Pour les personnes âgées encore indépendantes, vivant seules à leur domicile, mais dans une tranche d'âge où le risque de perte d'autonomie est élevé, il peut s'avérer nécessaire d'avoir un système de suivi pour observer l'évolution de leur niveau de dépendance et émettre une alerte en cas de perte d'autonomie. Si des limitations fonctionnelles sont détectées tôt, et sont suivies par des interventions appropriées, la personne âgée a des chances de récupérer les fonctions atteintes au lieu de les perdre et de restreindre ses activités [Cambois et al., 2004]. Ce système de suivi est

aussi utile dans le cas des personnes âgées dépendantes parce qu'il détecte tout changement dans la situation de dépendance de la personne âgée afin de prévenir son référent le plus tôt possible. Le travail de notre thèse s'inscrit dans ce cadre.

1.1.4 Acceptabilité de nouvelles technologies de surveillance

La surveillance (ou monitoring) de l'état de santé de personnes âgées à domicile peut améliorer de manière décisive la qualité de vie des personnes âgées en leur permettant notamment de rester chez elles le plus longtemps possible dans des conditions de sécurité acceptables. Pourtant, avec les nouvelles technologies de surveillance se posent inévitablement les questions de tolérance et d'acceptabilité puisque de telles techniques peuvent déranger les habitudes de vie et la vie privée des personnes âgées. Donc, le système de surveillance doit être le plus transparent et le plus humain possible, de manière à ce que les seniors bénéficient d'une aide adaptée à leurs besoins et à leur psychologie et gardent le maximum d'autonomie. Les technologies de surveillance, utilisant des capteurs non invasifs (c'est-à-dire non portés par l'occupant), non intrusifs (c'est-à-dire sans déranger l'intimité de l'occupant) et fonctionnant de façon passive (c'est-à-dire sans avoir besoin du concours de l'occupant), ont de fortes probabilités d'être acceptées par les personnes âgées et d'être diffusées largement.

Dans le questionnaire sur le travail des référents APA (voir annexe A.1), nous posons aux référents APA des questions concernant l'acceptabilité des personnes âgées sur quelques systèmes de surveillance (détecteur de mouvement, microphone, caméra...). D'après l'enquête réalisée par Wilson [Wilson, 2005] sur le travail des référents (expériences, difficultés et besoins) aux Etats-Unis, les référents rencontrent des difficultés pour recueillir des informations sur certaines activités délicates comme aller aux toilettes mais également pour recueillir des informations plus générales lorsque la personne âgée est victime de pertes de mémoire. Leur réponse est positive sur l'installation d'outils qui les aident à collecter les informations sur les AVQ (Activités de la Vie Quotidienne) de l'occupant. D'après une enquête pour évaluer l'usage des habitats intelligents de la santé du projet AILISA¹, la réponse des soignants et des patients est positive sur l'installation des capteurs infrarouges passifs dans une chambre d'hôpital : le risque

¹ « Résultats de l'évaluation d'usage des HIS du projet AILISA », http://bib.stic-sante.org/2165/01/PRumeau_EvaluationEthique.pdf

sur l'intimité des patients est modéré, le risque sur la relation de soin est moins important, le besoin perçu est important, et l'usage potentiel du système est très grand.

1.2 Etat de l'art sur les technologies existantes d'aide à domicile

Les nouvelles technologies peuvent transformer la vie à domicile des personnes âgées. Nous pouvons les classer suivant leur objectif, en 4 groupes : technologies pour la télésurveillance médicale, technologies pour renforcer la sécurité à domicile, technologies d'assistance aux personnes âgées pour les tâches de la vie quotidienne, et technologies pour maintenir le lien social et la téléassistance. Dans les paragraphes suivants, nous listons, pour ces quatre groupes, les technologies d'aide à domicile existant en France. Les informations sur ces technologies ont été obtenues à partir du site web des projets, du colloque Innovadom² (un colloque grenoblois sur l'innovation au service des seniors) et des réunions du groupe de recherche Stic-Santé³.

1.2.1 Technologies pour la télésurveillance médicale

Les technologies d'information et de communication sont installées à domicile pour améliorer l'efficacité des professionnels de santé et renforcer le lien entre le patient à domicile et son médecin traitant. Elles s'adressent non seulement aux patients de l'hospitalisation à domicile mais également aux personnes âgées vivant seules chez elles.

Le projet Gluconet [Perréal, 2003] réunit les participants suivants : France Télécom R&D (opérateur), Roche Diagnostics, Palm France, le CHU de Grenoble, le CHU de Toulouse, Agir à Dom (partenaires). Il s'inscrit dans le cadre de la télémédecine et du suivi thérapeutique du patient diabétique. Le système Gluconet permet à des patients diabétiques d'envoyer leurs données de glycémie à leur médecin via un téléphone mobile. Le système se compose d'un lecteur glycémique avec port infrarouge, commercialisé par Roche Diagnostics, qui mémorise les mesures quotidiennes, d'un ordinateur de poche avec port infrarouge et mobile intégré ou d'un ordinateur de poche relié à un mobile par port infrarouge, d'un logiciel France Télécom R&D placé dans l'ordinateur de poche qui permet de récupérer les glycémies du lecteur puis de les transférer automatiquement au serveur via le mobile, et d'un serveur Web de dossiers patients

² <http://www.innovadom.org>

³ <http://stic-sante.org>

mis au point par France Télécom. Régulièrement, le médecin consulte les données glycémiques du patient sur le serveur Web et envoie un avis médical adapté à chaque patient par SMS. Le projet a commencé en mars 2001. La phase d'expérimentation clinique, d'une durée d'un an, a été lancée en mars 2003.

Le projet Diatélic (Télésurveillance Interactive et Coopérative des DIAlysés à domicile) [Durand et al., 2001, Chanliau et al., 2005] réunit les participants suivants : le LORIA, ALTIR, le CHU de Nancy et Gambro. Il s'inscrit dans le cadre de la télésurveillance de patients dialysés, traités à leur domicile par une dialyse péritonéale continue ambulatoire. Le système Diatélic se compose de trois sous-systèmes : le premier est un terminal informatique au domicile du patient, le second est un serveur intégrant une base de données et des systèmes intelligents de détection d'alertes, le troisième est le terminal informatique du médecin. Le système surveille et contrôle l'hydratation d'insuffisants rénaux traités par dialyse péritonéale continue ambulatoire. Le malade saisit en ligne ses paramètres journaliers (poids, température, tension artérielle couché/debout, volume et nature des poches, mode de filtration). La base de données a été couplée à un système expert « auto-apprenant » qui, sur la base des évolutions observées sur plusieurs jours, et associé à des moyennes de référence sur deux semaines (pour tenir compte des évolutions lentes de l'état du patient), déclenche des alertes précises (ex. risque d'hyperhydratation à cause d'une tension et d'un poids trop élevés) à destination du médecin. Le médecin va consulter, via le réseau Internet ces alertes de façon prioritaire pour ensuite affiner son diagnostic sur la base de l'historique du patient. Le projet a commencé en 1996. L'expérimentation médicale a débuté en juin 1998.

Le dispositif MEDILINE DOM'O2 [Dautzenberg et al., 1997] a été conçu par Téléport Paris Ile de France. Il vise à télésurveiller à domicile des insuffisants respiratoires. Le système comprend un capteur d'observance situé sur les branches de lunettes d'oxygène et un boîtier de télésurveillance qui peut être branché sur toute source d'oxygène. Il permet une transmission quotidienne des paramètres mesurés : observance, débit d'oxygène, fraction d'oxygène (FO2). Un logiciel facile à utiliser permet une réception au centre serveur, un stockage et une gestion aisés des courbes quotidiennes ou mensuelles. L'une des expériences de télésurveillance d'oxygénothérapie à domicile pour les insuffisants respiratoires a été réalisée sur 1436 journées grâce au dispositif MEDILINE DOM'O2.

Le programme ViSaDom [Nicolas et al., 2005] réunit les participants suivants : France Télécom R&D, le CHU de Grenoble, le Laboratoire Interuniversitaire de Gérontologie de Grenoble (LI2G). Il a développé un outil communicant permettant d'établir un lien visiophonique entre un patient à domicile et les équipes soignantes d'un réseau d'Hospitalisation à domicile (HAD). L'outil comprend une station visiophonique installée à domicile, équipée d'une télévision et d'une caméra pilotable depuis le siège de l'HAD qui la manipule grâce à une télécommande. Les modes d'utilisation de l'outil ViSaDom sont variés : communication simple entre patient et soignant qui se voient mutuellement, transmission de données, suivi des plaies, évaluation immédiate d'une situation en attendant l'arrivée du soignant, lecture d'ordonnances, surveillance d'appareils médicaux... L'expérimentation a été lancée en 2000.

1.2.2 Technologies pour renforcer la sécurité à domicile

Les personnes âgées vivant seules à domicile sont sujettes à des risques liés au vieillissement à court terme (chute, malaise...) et à plus long terme (mauvaise alimentation, hygiène insuffisante, perte d'autonomie...). Les technologies de télésurveillance et de télédiagnostic sont installées à domicile pour gérer ces risques par la télédétection d'événements pouvant être dangereux pour la personne âgée.

Le système GARDIEN (Gérontologie Assistée par la Recherche et le Diagnostic des Incidents et des Errances Nocturnes) [Steenkete et al., 2001] réunit les participants suivants : l'Unité 558 INSERM de Toulouse, le LI2G, et le CHU de Grenoble. Il permet d'assurer le télésuivi dans leur chambre d'hôpital de patients atteints Alzheimer. Il a plusieurs objectifs : déclencher une alarme en cas de chute ou de fugue du patient, fournir une aide au diagnostic grâce à l'étude du comportement moteur dès les premiers symptômes d'une pathologie, apprécier les effets d'un traitement sur le comportement moteur du patient. Ce système fonctionne à partir d'un réseau de capteurs à infrarouge passifs, fixés au plafond de la chambre du patient, qui détectent les mouvements de la personne. Chacun des capteurs surveille une zone stratégique de la chambre (la porte, le lit, les toilettes et les dégagements autour du lit). Un ordinateur gère à distance et à intervalles réguliers, l'acquisition des données qui sont traitées par un logiciel d'intelligence artificielle. L'installation est testée dans deux chambres d'hôpital sur Toulouse.

Le projet ACTIDOM (ACTImétrie à DOMicile)⁴ réunit les participants suivants : France Télécom R&D, TIMC, Teamlog, le LI2G, et le CHU de Grenoble. Il a pour objectif de mesurer l'activité des personnes âgées fragiles dans leur vie quotidienne afin de déterminer l'évolution de leur état de dépendance. D'un point de vue clinique et fonctionnel, le mécanisme de la perte d'autonomie ou de l'entrée en dépendance se traduit par une perte d'activité dont les effets observables sont la réduction des actes élémentaires de la vie quotidienne. Cette analyse passe par la détection de postures, de transferts, et par la classification de l'activité, grâce à la mise en œuvre du système de capture de mouvement TRIDENT sur des personnes âgées. Le système de capture de mouvement est un capteur dit « microcentrale d'attitude » munie de trois accéléromètres et de trois magnétomètres associé à un prétraitement des données, développé par le département des Technologies pour la Biologie et la Santé du CEA Létis. Un capteur unique placé sur le torse, peu intrusif pour l'utilisateur, suffit pour extraire les données nécessaires à la mesure d'activité. Des algorithmes ont été développés pour traduire les signaux acquis en informations de posture et d'activité globale. Ces informations nourrissent un logiciel, destiné au médecin, qui facilite l'aide au diagnostic et le suivi dans le temps du patient. Le projet a démarré en 2003.

Le vêtement intelligent VTAMN (Vêtement de Télé Assistance Médicale Nomade) [Noury et al., 2004] réunit les participants suivants : TAM-Télé Santé, ITECH, l'INSA de Lyon, Mediag, RBI, Medes, TIMC de Grenoble, et l'INSERM-SPIM. Il a pour objectif de repousser les limites de vie autonome des patients (hors des institutions de soins) grâce à l'utilisation d'équipements de surveillance, intégrés dans des vêtements et portés par les patients de façon « nomade ». Il est constitué de fibres synthétiques spéciales, dispose de capteurs physiologiques (une série de capteurs à électrodes sèches, un détecteur de chute, un actimètre...) pour saisir en continu des signaux vitaux des patients au cours de leurs déplacements. Un centre de téléassistance recueille nuit et jour les informations transmises par GSM. Le projet a commencé en 2000.

Le projet HIS (Habitat Intelligent pour la santé) [Noury et al., 2000; Rialle et al., 2001], du laboratoire TIMC-IMAG, a pour objectif de favoriser le maintien ou le retour au domicile des personnes fragiles. Les capteurs sont distribués dans l'habitat ou embarqués sur la personne

⁴ www.cea.fr/content/download/4371/22602/file/Medec_2007.pdf

suivie pour collecter un ensemble de données. Les données sont traitées et analysées localement par un système d'informations. Dans l'architecture retenue, ces données sont ensuite acheminées vers un centre de télésurveillance, grâce à Internet par exemple, où elles sont redistribuées aux « personnes ressources ». Il peut s'agir du médecin hospitalier, du médecin traitant, des services infirmiers, des CCAS (Centre Communal d'Action Sociale) ou encore de la famille et des proches. Un habitat expérimental est installé dans les locaux du laboratoire TIMC. La phase d'expérimentation a été lancée en 2004.

Le projet AILISA (Appartements Intelligents pour une Longévité Effective) [Noury, 2005a ; Noury, 2005b] réunit les participants suivants : TIMC de Grenoble, l'Hôpital Charles Foix d'Ivry-sur-Seine et le CHU de Toulouse. Il vise à mettre en place, dans des environnements contrôlés, des plateformes pour l'évaluation médicale, technique et éthique, de technologies pour le maintien à domicile de certaines personnes âgées en situation de dépendance. Il se propose de créer et de pérenniser des lieux de validation qui permettront d'accumuler l'expérience et d'augmenter la connaissance en toute sécurité. Il prend en compte dès le début, la dimension éthique de la prise en charge de la santé par des moyens technologiques. Le projet a commencé en 2004.

Le projet PROSAFE [Chan et al., 1995; Chan et al., 2003] est développé par le LAAS-CNRS de Toulouse et a reçu l'appui pour ces développements sur sites habités de l'industriel EDF R&D. Il vise à développer un système de surveillance pour personnes âgées dans 2 buts : contribuer à leur maintien à domicile en leur permettant une surveillance de tous les instants et émettre une alarme dans le cas d'une situation anormale (durée d'immobilité longue, fugue, forte agitation nocturne au lit). Ce système est composé d'un réseau de capteurs de mouvements infrarouges reliés sans fil vers un poste distant. Le système a été expérimenté en institutions, en hôpital et à domicile. Il repose sur la détection temporelle de la présence ou de l'absence de l'occupant dans chacune des zones spatiales considérées et de l'apprentissage des habitudes. Le projet a démarré en 1995 et a évolué sans cesse pour arriver aujourd'hui à une version avancée multifonctionnelle qui intègre une analyse multicritères (Bonhomme et al., 2007; Bonhomme et al., 2008). Des études en cours concernent actuellement son utilisation et son évaluation pour une surveillance de l'occupant dans une institution située en zone rurale bénéficiant d'un lien de communication satellite (Campo et al., 2008).

1.2.3 Technologies d'assistance aux personnes âgées pour les tâches de la vie quotidienne, en soutien ou en suppléance

Un des aspects les plus difficiles à vivre pour les personnes âgées est la perte de capacité d'accomplir de façon sécuritaire les tâches quotidiennes. La détérioration des articulations, la perte de la vision et même la perte de l'ouïe peuvent avoir un impact important sur les activités de tous les jours. Les nouvelles technologies (robot d'assistance, domotique...) se sont développées pour améliorer la vie autonome, non seulement de la personne âgée mais aussi de la personne dépendante ou handicapée, dans le cadre du maintien à domicile.

Le projet Monimad - Robot d'Assistance aux déplacements⁵ réunit les participants suivants : le LRP (Laboratoire de Robotique de Paris, Université Paris 6), Robosoft SA, l'Hôpital Charles Foix d'Ivry sur Seine, 3WAC, Mydl. C'est un projet de robot d'assistance aux personnes âgées, en milieu médicalisé et à domicile. Le rôle de ce robot est de constituer une aide à la déambulation pour assurer des déplacements sécurisés aux personnes âgées handicapées. Cette aide technique permet d'augmenter l'efficacité d'une rééducation et, d'une manière générale, d'améliorer la qualité de vie des patients dans les établissements de soin, ou de favoriser le maintien à domicile. Cette aide s'adresse aux patients souffrant de troubles de la fonction locomotrice après chirurgie ou complication cardiaque et aux patients atteints d'une maladie d'Alzheimer. Le robot est un système mécanique complexe équipé de capteurs : capteur d'effort (mesure de l'interaction homme/machine), capteur de position et d'orientation, plateforme stabilométrique (évaluation du centre de pression). Le robot permet d'assister le transfert assis/debout des patients et leur mobilité sur des surfaces présentant des discontinuités et des obstacles. Il intègre un système d'acquisition et de transmission de paramètres physiologiques prélevés en temps réel sur le patient par des capteurs, l'observation du couple patient/déambulateur permettant le dépistage de facteurs de risque pour déclencher des alarmes et adapter l'approche thérapeutique. Le robot est expérimenté depuis 2006.

Le pilulier hebdomédis⁶, de la société H2AD, est un distributeur automatique de médicaments répondant au besoin des patients et des familles qui souhaitent diminuer les risques liés à une

⁵ « Le robot d'assistance aux déplacements MoniMad », http://bib.stic-sante.org/2166/01/P3_AILISA%2706_VPasqui.pdf

⁶ http://www.h2ad.net/securisation_de_la_prise_de_medicaments.php

mauvaise observance dans la prise des médicaments. Le distributeur automatique délivre les médicaments de façon sécurisée pendant 7 jours avec 4 prises possibles par jour (matin, midi, soir et coucher). A heure précise, un signal sonore et lumineux avertit le patient qu'il doit prendre ses médicaments. Le signal est répété jusqu'à ce que la trappe d'accès soit levée et refermée. Le couvercle est verrouillé rendant impossible les erreurs. Le rechargement est protégé par un code. Les messages vocaux sont personnalisables. Ils permettent notamment d'avertir de la prise d'un sirop, d'un sachet ou encore de prévenir le patient qu'il doit mettre des gouttes dans ses yeux par exemple. Le distributeur signale par téléphone (via le télétransmetteur) au centre médicalisé la non prise d'un médicament pendant la plage autorisée. Le système est commercialisé depuis 2006.

Le robot RoboDomo⁷, développé par le CHU et l'Université de Nice, est un robot destiné à aider les personnes âgées dans leur vie quotidienne. Il peut assurer un maintien sécurisé à domicile des personnes âgées. Ce robot, doté d'un écran pour la communication bi directionnelle et d'une caméra pilotable à distance par un simple téléphone 3G, intègre un réseau de capteurs de surveillance (capteur de chute, pilulier, tensiomètre, pèse personne, semelles RFID pour Alzheimer...). Le robot est en phase de test depuis la fin 2007.

La domotique propose l'automatisation des équipements de l'habitat pour favoriser l'autonomie des personnes âgées. Elle contribue à simplifier la vie de ses habitants et améliore leur niveau de confort et de sécurité. En facilitant l'échange d'informations dans un logement, la domotique permet déjà aux personnes dépendantes de piloter à distance les équipements électriques de l'habitat (éclairage, chauffage, volets et stores, électroménager, appareils audiovisuels, portes et lits automatisés...), selon leurs besoins du moment, voire de manière personnalisée au handicap. Il existe en effet des « scénarii » facilement programmables, c'est-à-dire des combinaisons d'actions automatisées qui aident l'utilisateur et lui évitent des déplacements et des actes difficiles ou répétitifs. Une personne à mobilité réduite peut diriger ainsi son logement à partir d'un système vocal ou d'une téléthèse (télécommande sophistiquée adaptée au handicap). Plusieurs solutions sont commercialisées, citons par exemple, le système domotique Tébis⁸.

⁷ <http://portail.unice.fr/jahia/webdav/site/myjahiasite/users/siran/public/Lancement%20RoboDOMO%20101106.pdf>

⁸ <http://www.hagerpourvous.fr/menu/domotique/aide-aux-personnes/1024-483.htm>

1.2.4 Technologies pour maintenir le lien social et la téléassistance

Les personnes âgées vivant seules à domicile peuvent avoir besoin de systèmes d'échange d'informations pour rompre l'isolement. L'accès aux technologies permet de répondre à ces besoins des personnes âgées.

Le projet T@PA - Télé-@ssistance pour personnes âgées⁹ réunit les participants suivants : ENST-Bretagne de Brest, TELECOM Bretagne, Université de Bretagne Occidentale. Il vise à mettre en place une plate-forme qui facilitera les relations entre la personne âgée et les réseaux affectifs, sociaux ou professionnels qui l'entourent. La personne âgée peut recevoir, sur son téléviseur, des messages, photos ou vidéos de ses proches et consulter diverses informations municipales. La plate-forme comprend : une connexion internet, un ordinateur domestique qui pilote la télévision et une télécommande. L'expérimentation a été lancée fin 2004 chez 4 personnes âgées.

La solution E-lío - le lien électronique qui s'aligne sur la vie des seniors¹⁰, de la société Technosens, est un outil de communication ultra-simplifié qui permet à la personne âgée de rester en contact audio et vidéo avec ses proches, médecins et aides soignants. Le système se compose d'un combiné téléphone-télécommande à touches simplifiées sur socle, d'une centrale « intelligente » reliée à la télévision et à internet, et d'un capteur vidéo appelé « Globe ». Il est personnalisable, doté de nombreux services associés (albums photos, leçons de gymnastique à distance...) et d'options technologiques (jeux spécifiquement étudiés, radio...). La solution E-lío sera disponible en 2009.

L'ordinateur Magui – un PC pour seniors, de la société nîmoise Simplistay¹¹, a pour vocation de faire profiter les personnes âgées de l'informatique, avec des outils simplifiés à l'extrême. C'est un ordinateur, qui ne comprend ni unité centrale, ni clavier, ni souris ; tout est intégré à l'écran tactile, sur lequel s'affichent des icônes fortement agrandies, pour un maximum de lisibilité. Il dispose également d'une webcam et d'un logiciel de synthèse vocale. Il sert à communiquer par téléphone, par courrier électronique ou par visioconférence. Les courriels sont lus à haute voix et

⁹ <http://departements.enst-bretagne.fr/info/recherche/sid/tapa.php>

¹⁰ <http://www.technosens.fr/1-4485-E-lío-le-lien-electronique.php>

¹¹ <http://www.magui.fr/index.php?page=presentation>

l'annuaire téléphonique se résume à une liste de photographies. Il est conçu et développé depuis 2005.

Le médaillon (ou le bracelet) d'appel d'urgence est un service de téléassistance qui permet aux personnes âgées, handicapées ou malades, d'alerter une centrale d'écoute (SAMU, pompiers ou société d'assistance), au moindre problème, par simple pression sur le bouton du médaillon (ou du bracelet) porté autour du cou (ou du poignet) et relié à cette centrale. Les appels peuvent être émis à partir du domicile ou d'un périmètre extérieur à l'habitation. Dès réception d'un appel, le système en analyse la nature, son degré d'urgence et fait intervenir toute personne susceptible de venir en aide. Plusieurs produits sont commercialisés tel que le système Biotel¹².

Le projet européen Attentianet - Advanced TeleassisTance convErgent NeTwork for chronIc diseAse patieNts and Elders projecT¹³ réunit les participants suivants : Alcatel Lucent, Orange, Belgacom, Androme... Il a été initié par le programme européen eTEN, dédié au déploiement de e-service de santé trans-européen. Le projet est destiné à améliorer la qualité de vie et la communication des personnes âgées avec leur famille et les soignants, à domicile ou en dehors. Attentianet propose une téléassistance combinant : vidéo, GPS, TV et téléphone mobile. Le système de téléassistance connecte en permanence la personne âgée avec le corps médical et ses proches. Pour cela, l'utilisateur porte un téléphone composé de deux uniques boutons : un pour être mis en relation avec un centre de téléassistance qui redirige le malade vers un praticien ou prévient les urgences ; l'autre pour discuter dans le combiné comme un vrai téléphone portable. Le combiné est relié à un réseau de serveurs destiné à détecter tout problème et à prévenir le centre de téléassistance pour régler l'incident. Le téléviseur de l'utilisateur et les écrans des spécialistes et salariés du centre d'appel sont équipés d'une webcam afin de pouvoir échanger sur le mode de la vidéoconférence en cas de problème grave. Ce dispositif est également accessible aux proches de la personne âgée. Le système a été déployé dans un premier temps en Espagne et en Belgique avant d'être testé en France et au Portugal. Le projet s'est déroulé de janvier 2006 à juin 2007.

¹² <http://www.biotel.com/teleassistance.asp>

¹³ <http://www.attentianet.eu/index.html>

Conclusion :

Les constructeurs informatiques et électroniques, les opérateurs de télécoms, et les laboratoires français ont pris conscience de la nécessité d'adapter la technologie aux besoins des personnes âgées. Ils mettent au point de nouvelles aides technologiques, parfois déjà commercialisées, pour faciliter la vie et le maintien à domicile des personnes âgées. Ces technologies apportent des économies non négligeables en matière de coûts d'hospitalisation en établissement spécialisé (par exemple, à qualité de soins équivalente, l'hospitalisation à domicile coûte 3 à 4 fois moins à l'Assurance Maladie que l'hospitalisation classique (de l'ordre de 200 € contre 800 à 900 € par patient et par jour)¹⁴), rendent les personnes âgées plus indépendantes et leur offrent le bonheur de vieillir paisiblement chez eux.

Notons que le maintien à domicile, et plus généralement la prise en charge de patients à domicile, a fait l'objet de l'action 2HM (Hôpital Hors les Murs), soutenue par le pôle STP (Sciences et Techniques de la Production de biens et de services) du groupe national de recherche GDR-MACS (Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamiques), dont le but était d'établir un état des lieux des problématiques auxquelles doivent faire face les structures de soin d'hospitalisation hors les murs et de lancer des actions autour des problématiques de recherche identifiées [Guinet et al., 2007]. Nous avons contribué aux travaux du groupe de travail qui s'intéressait aux aspects de télésurveillance et aux systèmes d'informations nécessaires lors d'un maintien à domicile.

1.3 Habitats Intelligents pour la Santé

Avec le développement du maintien à domicile des personnes âgées, de nouvelles technologies sont installées dans les habitats pour répondre aux besoins des personnes âgées et des services de soins.

1.3.1 Notion

L'Habitat Intelligent pour la Santé (HIS), est une spécialisation de la notion d'habitat intelligent (Smart Home), qui intègre des capteurs et des actionneurs pour assurer un suivi médical à

¹⁴ <http://www.doctissimo.fr/html/dossiers/hopital/articles/12304-hospitalisation-a-domicile-02.htm>

distance des occupants et les seconder dans l’accomplissement des tâches journalières [Noury et al., 2003; Virone, 2003b; Barralon, 2005]. Son concept vise, notamment, à redonner une vie autonome, dans leur domicile, à des personnes âgées légèrement dépendantes ou à des personnes souffrant de divers pathologies et handicaps qui devraient normalement les contraindre à une hospitalisation. Il permet également d’assurer le maintien à domicile des personnes âgées autonomes.

1.3.2 Capteurs et actionneurs

Une grande variété de capteurs est utilisée dans l’HIS afin de collecter des informations sur l’état de l’occupant et sur son environnement. Les capteurs peuvent être classés suivant le type d’informations collectées [Noury et al., 2003] : physiologique, comportemental ou environnemental (voir Tableau 1-5).

Des capteurs comportementaux incluent les détecteurs de mouvement qui permettent de localiser la personne, les capteurs de contact sur les portes, sur les équipements de cuisine (par exemple sur la porte du réfrigérateur) qui indiquent s’ils ont été ouverts, les capteurs de pression qui indiquent si une personne s’assied dans un lit ou sur une chaise, et les thermomètres qui indiquent si un four a été allumé. Les capteurs physiologiques sont généralement portés par une personne pour mesurer les signes essentiels tels que la fréquence cardiaque et la température de corps.

Tableau 1-5 - Classification des capteurs suivant le type d’informations collectées

Type d’information	Information	Capteurs
Physiologique	Rythme cardiaque	Electrodes posées sur la peau, tensiomètre
	Tension artérielle	Dispositifs à brassards (sphygmomanomètres)
	Poids	Pèse-personne du commerce, outil pesant la personne dans son lit ou dans les toilettes
	Température	Thermomètres électroniques qui mesurent le rayonnement infrarouge de la surface du tympan (thermomètres tympaniques) ou du fond de la bouche
	Ventilation	Capteur optique qui évalue l’opacité du sang aux extrémités des doigts, des orteils ou du lobe de l’oreille
Comportemental	Présence	Capteur infrarouge passif
	Déplacement	Capteur ultrason, capteur de pression placé sous le tapis, GPS
	Utilisation	Contact magnétique, capteur de pression (placé sous le

	d'objet	matelas, la chaise...), RFID
	Geste	Caméra
	Posture	Accéléromètre, Caméra
	Chute	Accéléromètre
Environnemental	Température ambiante	Thermomètre
	Pression atmosphérique	Baromètre
	Humidité relative	Hygromètre
	Luminosité	Luxmètre
	Sons	Sonomètre, microphone
	Gaz	Détecteurs de gaz

Dans la littérature, on constate que les actionneurs installés dans l'HIS peuvent comporter :

- des technologies existantes dans le domaine domotique pour faciliter l'accomplissement de certaines tâches par l'occupant. Par exemple, nous pouvons citer le déverrouillage d'une porte en cas d'urgence, l'allumage ou l'extinction des lumières, le réglage du niveau de chauffage...
- des robots d'assistance peuvent venir en aide à l'occupant pour effectuer certaines tâches journalières. Par exemple, nous pouvons trouver des robots déambulateurs qui permettent de sécuriser les déplacements de la personne ou de lui faciliter ses transferts « assis-debout », un bras manipulateur monté soit sur la chaise roulante, soit sur un robot mobile, pour appuyer sur un bouton de commande, manipuler un levier de porte ou bien attraper un objet...
- des outils d'assistance comme le téléphone aide-mémoire, destiné aux personnes souffrant d'Alzheimer, qui affiche automatiquement la photo de l'appelant et rappelle à la personne âgée l'historique de ses communications, ou comme la boîte à pharmacie qui vérifie la prise de médicaments et si le patient se trompe de médicaments, une sonnerie l'avertit de son erreur...
- des robots aidants qui peuvent aider l'occupant à accomplir des tâches plus élaborées comme : préparer un repas ou faire le ménage, faire sa toilette... Ces robots peuvent être téléguidés ou bien pilotés par la voix ou le geste.

- en fonction des pathologies, l'HIS peut être amené à être équipé de « machines thérapeutiques » : pousse seringue, perfusion, machine de dialyse, piluliers...

1.3.3 Système d'information et de communication

Le système d'information et de communication de l'HIS permet la mise en réseau de différents HIS avec le service de soins, le personnel soignant et les proches. Son architecture globale (développée à partir de l'architecture présentée par Duchêne [Duchêne, 2004]) est présentée sur la Figure 1-1.

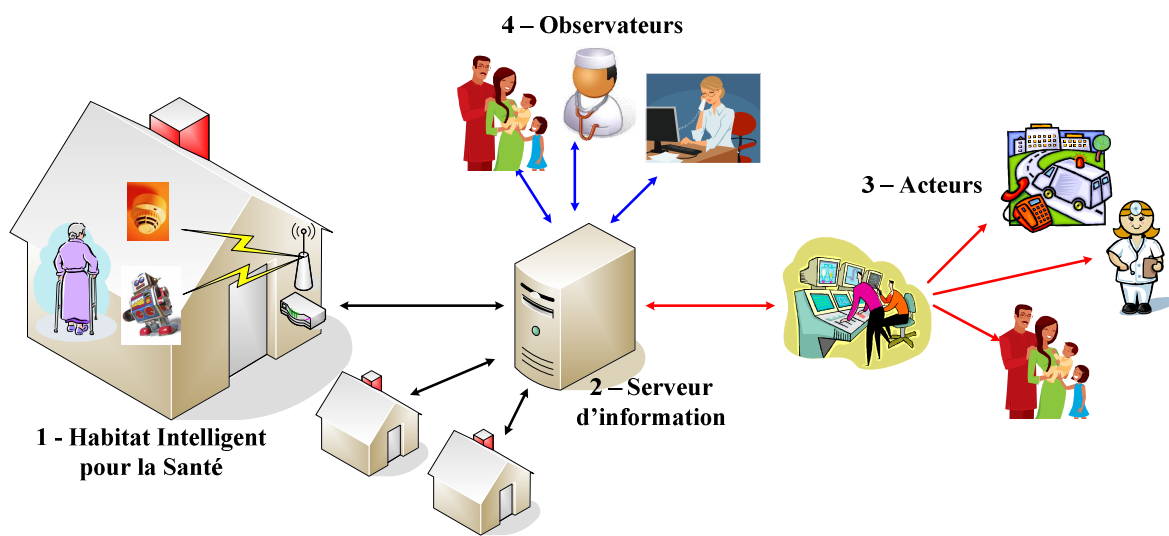


Figure 1-1 - Architecture du système d'information et de communication

Ce système est composé principalement :

1. d'Habitats Intelligents pour la Santé : chaque habitat comporte un ensemble de capteurs pour assurer une télésurveillance en temps réel de l'occupant, des actionneurs pour l'assister dans la vie quotidienne, et une base locale de traitement. La base locale de traitement s'occupe de deux tâches :
 - stocker les données des capteurs, les prétraiter et les transférer au serveur.
 - commander les actionneurs suivant des instructions du serveur pour adapter l'environnement à l'état de l'occupant ou assister l'occupant dans l'accomplissement des tâches journalières.

2. d'un serveur d'information, constitué d'un serveur de communication sur Internet, d'une base de données et d'un module de décision. Le module de décision s'occupe des tâches :
 - de détection, en temps réel, de toutes les situations critiques de l'occupant pour émettre des messages et alarmes au centre de télévigilance, et de commande des actionneurs pour répondre aux besoins de l'occupant.
 - d'analyse, sur le long terme, des données des capteurs et d'affichage des résultats de l'évolution de l'état de santé, du niveau de dépendance... de l'occupant destinés aux observateurs du système.
3. des acteurs du système : le premier maillon est un centre de télévigilance dont le rôle est de trier les messages et les alarmes reçus du serveur d'information et de les transférer aux autres acteurs du système (service d'urgence, aide-soignant, proches de l'occupant) afin d'avoir des interventions à temps. La précision et la fiabilité du module de décision du serveur d'information pourraient permettre de supprimer le centre de télévigilance de l'ensemble des acteurs.
4. des observateurs du système (proches de l'occupant, médecin traitant, référent APA) qui peuvent accéder à tout moment au serveur de communication pour consulter l'évolution de l'état de l'occupant et prendre des décisions convenables.

1.3.4 Etat de l'art sur les systèmes d'habitats intelligents pour la santé

Il existe de nombreuses études dans le domaine de l'habitat intelligent pour la santé. Elles font intervenir différents types de capteurs pour surveiller des paramètres à la fois médicaux, comportementaux et environnementaux de l'occupant [Tamura et al., 1998; Ogawa et Togawa, 2003b].

Dans la littérature, on trouve des états de l'art concernant les HIS :

Noury et al. [Noury et al., 2003] recensent les projets ayant conduit à l'implantation d'HIS. Ils présentent les principales démarches menées dans les domaines technologiques impliqués (systèmes d'informations, équipements domotiques, capteurs, assistance robotisée).

Stefanov et al. [Stefanov et al., 2004] identifient cinq groupes pour les dispositifs qui peuvent équiper un habitat intelligent (dispositifs pour automatiser et commander l'environnement, pour assister les activités de l'occupant, pour surveiller la santé de l'occupant, pour l'échange d'informations, pour les loisirs). Pour chacun de ces groupes, ils présentent les technologies existantes et les perspectives de l'habitat intelligent pour des personnes âgées et pour des personnes ayant des incapacités physiques.

Scanail et al. [Scanail et al., 2006] s'intéressent à l'état de santé de personnes âgées vivant à leur domicile. Ils estiment que la mobilité est un bon indicateur de l'état de santé, et présentent les technologies existantes pour la télésurveillance de la mobilité (et d'autres paramètres vitaux) de personnes âgées.

Nugent et al. [Nugent et al., 2008] présentent les solutions existantes pour automatiser l'habitat afin d'assister le quotidien des personnes âgées indépendantes.

Chan et al. [Chan et al., 2008] recensent et regroupent les principaux projets menés dans le domaine de l'habitat intelligent par continent. Ils résument les fonctions, les technologies associées et les méthodes utilisées par la communauté scientifique pour la réalisation de systèmes de surveillance (systèmes de mesures d'activités, systèmes embarqués, robotique d'assistance) pour personnes âgées. Ils discutent les futurs challenges à relever pour l'acceptabilité de tels systèmes.

Ces états de l'art recouvrent les solutions d'habitat intelligent existantes pour un objectif de prise en charge du vieillissement à domicile.

Dans le cadre de la thèse, nous nous intéressons aux systèmes d'habitats intelligents semblables à notre système, un système de télésurveillance du comportement d'une personne âgée vivant seule à domicile en utilisant des capteurs non invasifs (non portés par l'occupant), non intrusifs (sans déranger l'intimité de l'occupant) et fonctionnant de façon passive (sans avoir besoin du concours de l'occupant). Nous présentons ci-après un état de l'art sur la télésurveillance du comportement à domicile.

Depuis une dizaine d'années, plusieurs techniques de « surveillance » de paramètres comportementaux (le déplacement dans l'habitat : trajet, horaire, endroit et/ou l'utilisation des

objets : appareils électriques, meubles...) sont développées et expérimentées pour répondre aux besoins des personnes âgées et des services de soins. Les études existantes peuvent être classées en trois groupes (voir Tableau 1-6) : aide pour offrir une vie plus confortable aux personnes âgées, aide pour assurer une vie plus sûre aux personnes âgées, et aide pour faciliter le travail des personnes chargées de rencontrer les personnes âgées et de coordonner les aides et financements qui leur sont destinés (ces personnes seront appelées référents par la suite), certains auteurs utilisent les termes ‘caregiver’ ou ‘case manager’.

Tableau 1-6 - Résumé des études existantes et des types de capteurs mis en œuvre

Classification	Auteur	Description des capteurs
Groupe 1 (offrir une vie plus confortable)	[Campo et al., 2003]	contacts magnétiques, capteurs infrarouges actifs, capteurs infrarouges passifs, capteurs de température (intérieur et extérieur à l’habitat), commutateurs on-off (sur des lampes et la télévision)
	[Russo et al., 2004]	étiquettes de transmission, capteurs ultrason
	[Liau et al., 2008]	capteurs de charge
Groupe 2 (assurer une vie plus sûre)	[Yamaguchi et al., 1998]	capteurs infrarouges passifs, commutateurs magnétiques
	[Barnes et al., 1998]	capteurs infrarouges passifs, commutateurs magnétiques
	[Ogawa et al., 2000a; 2000b; 2003a]	capteurs infrarouges passifs, commutateurs magnétiques, capteur de CO ₂ , détecteurs de contact, thermistance dans la cuisine
	[Sixsmith, 2000]	capteurs infrarouges passifs, contacts magnétiques, capteurs de température ambiante
	[Noury et al., 2000] [Virone et al., 2002; 2003a; 2003b]	capteurs infrarouges passifs, contacts magnétiques
	[Ohta et al., 2002]	capteurs infrarouges passifs
	[Patterson et al., 2003]	étiquettes d’identification par fréquence de radio (RFID)
	[Korhonen et al., 2003]	capteur de mouvement portable (sur le poignet) avec un bouton d’alarme manuel
	[Hayes et al., 2004]	capteurs infrarouges passifs, contacts magnétiques
	[West et al., 2005]	contacts magnétiques, capteurs de pression, capteurs de débit de l’eau, capteurs de courant
	[Nambu et al., 2005]	commutateurs on-off sur des appareils électriques
	[Barger et al., 2005]	capteurs infrarouges passifs, commutateurs on-off
	[Suzuki et al., 2006]	capteurs infrarouges passifs, capteurs d’ouverture de portes et de fenêtres, capteurs photoélectriques,

		wattmètre
	[Hwang et al., 2006]	capteurs infrarouges passifs, capteur d'ouverture de portes, détecteur de son, détecteur de lumière
	[Alwan et al., 2006]	capteurs infrarouges passifs, capteur de température au-dessus du four, capteur de pression sur le lit
	[Tsukamoto et al., 2007]	capteurs de champ électrique
	[Bonhomme et al., 2007; 2008]	capteurs infrarouges passifs
Groupe 3 (faciliter le travail des référents)	[Cuddihy et al., 2003]	capteurs infrarouges passifs, contacts magnétiques
	[Wilson, 2005]	capteurs infrarouges passifs, contacts magnétiques, capteurs sans fil de mouvement d'objets, capteurs de débit de l'eau, capteurs de courant
	[Glascock et Kutzik, 2006; 2007]	capteurs infrarouges passifs

Nous précisons, ci-après, les capteurs les plus fréquemment utilisés et indiquons où ils sont généralement installés et ce qu'ils permettent de détecter. Les capteurs infrarouges passifs sont placés dans chaque pièce ou dans les endroits principaux de l'habitat pour détecter le mouvement et la présence de l'occupant. Les capteurs infrarouges actifs sont souvent placés sur le dormant des portes pour détecter généralement le sens du passage ainsi que la taille de l'objet qui passe. Les contacts magnétiques sont placés sur les portes d'entrée et les fenêtres pour détecter l'état d'ouverture et de fermeture. Pour détecter l'utilisation des appareils électriques, on se sert de wattmètres, de capteurs de courant ou plus simplement de commutateurs on-off. Les capteurs de pression sont utilisés pour détecter l'occupation de meubles comme la chaise ou le lit.

1.3.4.1 Solutions d'aide pour offrir une vie plus confortable aux personnes âgées

L'habitat automatique, avec la capacité d'autocontrôle de la lumière, de la température et des équipements automatisés de la cuisine facilite la vie des personnes âgées. Les habitudes, les pratiques et les modes de vie des occupants sont intégrés dans les procédures de mesure et de contrôle, c'est-à-dire dans les automates domotiques. Trois articles ont été recensés dans ce groupe (voir Tableau 1-6, groupe 1) et sont présentés ci-après.

Campo et al. [Campo et al., 2003] ont initialement utilisé un système multi-capteurs (contact magnétique, capteur infrarouge actif et passif, capteur de température...) pour enregistrer les habitudes de vie de l'occupant. En supposant que les habitudes sont répétitives et identifiables,

les statistiques sont utilisées pour apprendre les habitudes. La température dans l'habitat est contrôlée et adaptée automatiquement en fonction de la présence ou de l'absence de l'occupant.

Dans le système 'SmartWave', Russo et al. [Russo et al., 2004] utilisent des capteurs ultrason pour localiser l'occupant. La position et l'orientation de l'occupant sont utilisées comme un contexte pour afficher des guides sur les dispositifs audio-visuels. En se basant sur les habitudes de consommation (boisson et nourriture) enregistrées, le système envoie des rappels et suggestions à l'occupant. Ce système comporte aussi un four micro-onde intelligent qui peut cuire des repas sans le concours de l'occupant.

Avec l'objectif de fournir des services appropriés aux occupants aux heures appropriées et dans les endroits appropriés, Liao et al. [Liao et al., 2008] placent des capteurs de charge sous le sol pour suivre le déplacement des occupants dans l'habitat. Les auteurs présentent aussi une méthode permettant de déterminer la position de chaque occupant et de suivre leur déplacement.

Dans les articles présentés, les types de capteurs utilisés sont différents, mais ils s'intéressent tous aux habitudes de vie et à la localisation de l'occupant afin de fournir des services appropriés. Les appareils domotiques dans ces cas sont aussi reconfigurés pour s'adapter aux besoins de l'occupant.

1.3.4.2 Solutions d'aide pour assurer une vie plus sûre aux personnes âgées

Les études comportant de longues périodes d'observation de la vie réelle des personnes âgées montrent que les personnes âgées ont des habitudes de vie ou des rythmes de vie assez réguliers. Les changements dans leurs habitudes de vie peuvent donc signaler un problème ou une dégradation de leur état de santé. Par exemple, une longue durée immobile inhabituelle dans la salle de bain peut correspondre à une chute. Dans les cas inquiétants, des messages d'alerte sont envoyés aux soignants ou aux membres de la famille pour permettre des interventions adaptées.

Parmi les études classées dans ce groupe d'application (voir Tableau 1-6, groupe 2), nous citons ici quelques articles dans le but de montrer la variété des méthodes de traitement de données des capteurs utilisées pour détecter un état de l'occupant jugé inquiétant.

Ogawa et al. [Ogawa et al., 2000a; 2000b; 2003a] sont parmi les premiers à instaurer un système de télésurveillance. Leurs habitats, installés à Tokyo, déploient des systèmes multi-capteurs

(capteur infrarouge passif, contact magnétique, capteur de CO₂, détecteur de contact, thermistance...) pour surveiller à long terme l'état de santé des occupants à travers leurs routines journalières (déplacement, temps d'utilisation des différents appareils électroménagers, nombre d'ouvertures des portes...). Le système a été expérimenté en conditions réelles dans des maisons classiques, au cours de l'année 2000, avec trois sujets pendant un mois chacun. Les auteurs proposent une méthode d'analyse des comportements journaliers de l'occupant qui compare, jour après jour, les données enregistrées par le capteur placé sur la porte d'entrée. Les états d'ouverture (1) et de fermeture (0) de la porte d'entrée d'un jour sont enregistrés dans un vecteur. Ils calculent la distance du vecteur d'un jour à l'autre pour évaluer la régularité de comportement.

Sixsmith [Sixsmith, 2000] a développé un système de surveillance d'habitats intelligents basé sur l'emploi de capteurs 'low-cost' (capteur infrarouge passif, contact magnétique et capteur de température) pour identifier des situations d'urgence. Ce système détecte des déviations par rapport à des modèles d'activité normaux. Des messages d'alerte ou de fausses alertes peuvent être ainsi déclenchés. Ce système a été évalué pendant trois mois sur vingt-deux personnes âgées, et fut bien accepté par les personnes âgées comme par les aidants.

Ohta et al. [Ohta et al., 2002] ont surveillé pendant 80 mois un appartement équipé de capteurs infrarouges passifs dans lequel huit sujets, ayant 81 ans d'âge moyen et vivant seuls, se sont succédés. Ils ont constaté que chaque sujet avait un modèle spécifique de déplacement. Les déplacements d'un occupant sont représentés sous la forme d'une matrice ou d'un diagramme de transitions. Pour définir si une journée est 'habituelle' ou 'inhabituelle', ils étudient la durée de séjour dans les pièces, la longueur des déplacements effectués dans la journée et comparent la matrice de transition avec des matrices de référence, et l'histogramme de déclenchements des capteurs avec les histogrammes de référence. Un état 'inhabituel' n'impliquant pas automatiquement un état "anormal" (synonyme de maladie ou d'accident), toute détection d'un état 'inhabituel' sera transmise aux proches, qui décideront de l'intervention appropriée.

Virone et al. [Virone et al., 2002; 2003a; 2003b] présentent la mise en place d'un HIS expérimental. En faisant l'hypothèse que les rythmes biologiques et sociaux de l'occupant sont liés à son comportement et à son activité physique, les auteurs mesurent ces rythmes par le déplacement de l'occupant au sein de l'habitat en utilisant des capteurs infrarouges passifs. Ils proposent les termes 'Rythmes Circadiens d'Activité' (RCA) pour faire référence à la mesure

comportementale de l'activité de l'occupant dans l'habitat. Le système effectue la surveillance et auto-apprend les habitudes de vie de l'occupant à travers le calcul des RCA, de façon à détecter une évolution anormale du comportement sur le long terme. Un simulateur a été développé pour valider le système.

En utilisant un commutateur on-off pour surveiller le temps d'utilisation du téléviseur de l'occupant, Nambu et al. [Nambu et al., 2005] ont présenté un algorithme pour détecter automatiquement l'état de santé de l'occupant. Cet algorithme reconstruit des images monochromes à partir des données de l'heure où l'occupant regarde la télé. Chaque fois que l'occupant démarre la télé, l'heure de départ est enregistrée. Ils divisent les 24 h en intervalles de quinze minutes, et pour un mois de trente jours ils obtiennent une image monochrome de 30x96 pixels. Si l'heure de départ est enregistrée dans un intervalle de quinze minutes, on met le pixel correspondant en noir. Ils ont supposé que l'aspect aléatoire de l'image augmente si les rythmes de vie quotidienne changent et si l'occupant est en mauvaise santé. Si l'aspect aléatoire de l'image est important, le contenu de l'image (entropie) est grand. L'algorithme calcule l'entropie de l'image reconstruite pour diagnostiquer l'état de santé de l'occupant. Cet algorithme a été appliqué aux données obtenues pendant sept mois et le résultat a presque correspondu à l'état de santé de l'occupant. Ils ont supposé que cette méthode pouvait être utilisée non seulement pour diagnostiquer l'état physique mais aussi l'état mental de l'occupant.

Dans une nouvelle version du système PROSAFE, Bonhomme et al. [Bonhomme et al., 2007; 2008] ont utilisé une analyse multicritères (temps de présence, temps d'immobilité, vitesse, distance) avec le calcul automatique de tranches horaires pour évaluer une situation anormale de l'occupant. Ce traitement et cette analyse étant issus de la combinaison de calculs statistiques reposant sur l'historique de la personne et d'un algorithme génétique.

Divers critères sont présentés dans les articles de ce groupe afin de classer une situation comme "habituelle" ou "inhabituelle". Il reste encore des difficultés pour classer les situations "inhabituelles" en "situations dangereuses" ou "situations non dangereuses".

1.3.4.3 Solutions d'aide pour faciliter le travail des référents

Pour le maintien à domicile dans les meilleures conditions possibles, les référents rencontrent les personnes âgées chez elles afin d'évaluer leur état d'autonomie. Les référents classent le niveau

de dépendance d'une personne âgée à l'aide d'échelles ou de grilles, par exemple la grille AGGIR [Benaim et al., 2005], et coordonnent les aides et les financements pour l'intéressé. En général, les référents rendent visite aux personnes âgées une fois par an (sauf demande de l'intéressé ou de son entourage). Les référents ont besoin d'informations mises à jour fréquemment pour répondre correctement aux besoins des personnes âgées, proposer les services les plus adéquats et bien intervenir dans les cas nécessaires. Dans le but d'aider les référents dans leur travail, la « surveillance » de comportement utilisant des capteurs, non invasifs, non intrusif et fonctionnant de façon passive, est vraiment adaptée, de part son respect de la vie privée des personnes âgées et son fonctionnement passif sans perturber les habitudes de vie des personnes âgées. Une surveillance 24h/24 et 7j/7 fournit aux référents des informations détaillées et actuelles sur le mode de vie de l'occupant. C'est le cadre des travaux présentés dans cette thèse. Nous donnons ci-après quelques informations sur les autres études recensées dans ce groupe (voir Tableau 1-6, groupe 3).

Cuddihy et al. [Cuddihy et al., 2003] utilisent des capteurs infrarouges et des contacts magnétiques pour surveiller des personnes âgées dans leur habitat. Les capteurs couvrent trois points spécifiques dans l'habitat : porte d'entrée, utilisation de la cuisine et déplacement dans l'habitat. L'utilisation de la cuisine est surveillée à la fois par des capteurs infrarouges et des contacts magnétiques. Les données de surveillance sont affichées sur un site que les référents peuvent consulter.

Wilson [Wilson, 2005] a fait une enquête sur le travail des référents (expériences, difficultés et besoins). Les référents rencontrent des difficultés liées à des oublis de la personne âgée, mais aussi pour avoir des informations sur certaines activités « délicates », comme aller aux toilettes. La réponse des référents est positive sur l'installation d'outils qui les aideraient à collecter les informations sur les AVQ de l'occupant. Pour répondre aux besoins exprimés par les référents en termes de surveillance des AVQ des personnes âgées, l'auteur a présenté une utilisation du filtre bayésien et du filtre de particules pour le suivi des activités et la localisation de plusieurs occupants dans un habitat expérimental équipé multi-capteurs. Il a également proposé des pistes pour reconnaître certaines AVQ.

Dans l'étude de Glascock et Kutzik [Glascock et Kutzik, 2006; 2007], les auteurs utilisent des capteurs de mouvement sans fil (capteur infrarouge passif combiné avec transmetteur sans fil)

pour collecter les données sur l'heure de lever, la préparation de repas, la prise de médicaments, la toilette et l'activité générale de l'occupant. La station de base placée dans l'habitat rassemble et transmet par internet les données des capteurs à un serveur de télésurveillance. Ce serveur utilise des règles d'analyse de tendance pour afficher une information relative à chaque activité sur un site web (icônes de trois couleurs différentes suivant les déviations estimées). Ce système est breveté et aucun détail n'est donné sur les règles utilisées. Les référents se connectent sur ce site pour récupérer les informations concernant les personnes qu'elles suivent.

Toutes les études dans ce groupe visent à exploiter les données de capteurs pour inférer les activités réalisées par l'occupant dans la journée. Cette information est ensuite transmise aux référents par l'interface d'un site web. Actuellement, il n'existe pas encore d'outil capable d'évaluer automatiquement la dépendance de l'occupant. Un outil de ce type pourrait faciliter le travail des référents et permettrait de signaler la détection d'une perte d'autonomie de l'occupant. Le travail de notre thèse a pour but de développer un tel outil.

Conclusion :

Malgré les travaux récents, les technologies de télésurveillance à domicile ne permettent pas encore d'installer et de maintenir des conditions de sécurité et d'efficacité médicales comparables à celles dont aurait bénéficié la personne dans des institutions de santé (services hospitaliers, cliniques, maisons de retraite médicalisées...). Cependant la télésurveillance des comportements à domicile est maintenant en bonne voie pour répondre aux besoins des personnes âgées et des services de soins.

1.4 Objectif de la thèse

Comme on l'a vu précédemment, le problème de perte d'autonomie chez les personnes âgées sera un phénomène important de la société dans un proche avenir. Dans le cadre du projet AILISA (Appartements Intelligents pour une Longévité Effective) [Noury, 2005a; Noury, 2005b], déjà cité, quatre plateformes expérimentales sont mises en place. La première plateforme est installée dans une chambre d'hôpital à l'hôpital gériatrique du CHU de Toulouse. La deuxième plateforme est installée dans une chambre d'hôpital à l'Hôpital Charles Foix. Les deux dernières plateformes sont installées dans 2 appartements au foyer Notre Dame (foyer pour les personnes âgées) à Grenoble, habité chacun par une personne âgée (octogénaire). Dans chaque appartement, l'espace

de vie est divisé en 7 zones : entrée, salon, chambre, cuisine, lavabo, douche et WC. Sept capteurs infrarouges passifs sont placés pour surveiller et enregistrer tous les mouvements de l'occupant dans 7 zones.

Notre travail de thèse a pour objectif de traiter les données de capteurs enregistrées aux 2 plateformes grenobloises pour reconnaître les AVQ réalisées par la personne âgée dans une journée afin d'observer l'évolution de son état de dépendance et de construire un outil capable d'évaluer automatiquement la dépendance de la personne âgée.

Pour évaluer l'état d'autonomie d'une personne âgée, nous nous basons sur l'accomplissement de six activités de la vie quotidienne (AVQ), définies par Katz, qui sont : toilette, habillage, aller aux toilettes, transfert, continence et alimentation (voir Tableau 1-3). Le système de capteurs ne permet pas de reconnaître la continence. Il reste donc cinq AVQ à reconnaître automatiquement.

Les capteurs enregistrent 24h/24 les mouvements de l'occupant. Les données enregistrées nous permettent de déterminer où l'occupant se trouve et à quel moment. Pourtant, ces informations ne suffisent pas pour inférer l'activité réalisée. Donc, les habitudes de vie de l'occupant, obtenues grâce à un questionnaire, sont utilisées comme complément d'information pour l'inférence des activités réalisées.

A partir des fichiers issus des capteurs, nous utilisons des méthodes de traitement de données pour reconnaître les AVQ réalisées par l'occupant. Le processus de traitement et d'analyse de données pour la reconnaissance des AVQ et l'évaluation de l'autonomie de l'occupant est présenté sur la Figure 1-2.

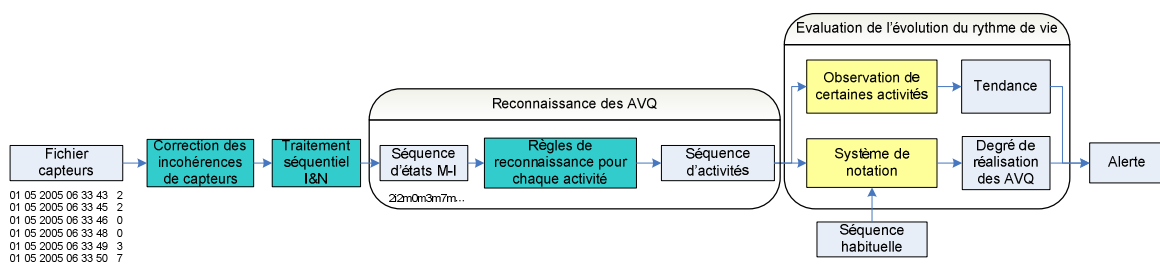


Figure 1-2 - Processus de traitement et d'analyse de données

Les mouvements de l'occupant sont enregistrés dans le fichier sous forme des lignes contenant l'heure de mouvement et le numéro de capteur déclenché. Les zones de détection de quelques

capteurs ont des intersections qui causent des incohérences et des entrelacements dans les données de capteurs enregistrées (voir Figure 2-2). Une étape de correction est proposée pour corriger les données. Ensuite, dans l'étape de traitement séquentiel, les données sont transformées en une autre forme : une séquence d'états mobile – immobile de l'occupant dans les pièces, sur laquelle nous pouvons appliquer les méthodes de reconnaissance pour reconnaître les AVQ. Dans l'étape de reconnaissance d'activités, en nous basant sur les habitudes de vie de l'occupant, nous représentons chaque AVQ par la séquence d'états mobile – immobile lui correspondant. Ensuite, des règles de reconnaissance sont utilisées pour chercher l'occurrence des AVQ dans la séquence d'états journalière. Les occurrences correspondent à l'heure de réalisation des AVQ. Nous comparons la séquence d'activités reconnues à la séquence d'activités habituelles de l'occupant et donnons un score pour le niveau de ressemblance. En nous basant sur ce score, nous surveillons l'évolution du rythme de vie de l'occupant jour après jour. C'est un bon indicateur pour évaluer son autonomie.

La suite du mémoire est organisée de la manière suivante :

- Le chapitre 2 présente les plateformes d'Habitat Intelligent pour la Santé utilisées dans le cadre de la thèse, le type de données fournies par les capteurs, le questionnaire sur les habitudes de vie de deux personnes âgées, ainsi que les avantages et les limitations des capteurs installés.
- Le chapitre 3 présente la méthode de traitement de données, étape par étape, que nous proposons pour répondre à notre cas d'étude et à notre objectif de thèse.
- Le chapitre 4 présente les résultats de la méthode présentée dans le chapitre 3.
- La conclusion du travail.

Chapitre 2

Support du travail

Ce chapitre présente les plateformes d’Habitat Intelligent pour la Santé utilisées dans le cadre de la thèse, le type de données fournies par les capteurs, les données fournies par le questionnaire sur les habitudes de vie de deux personnes âgées, les avantages et les limitations des capteurs installés.

Notons que les plateformes utilisées dans nos travaux ont été conçues et installées par le laboratoire TIMC et que nous ne sommes que des utilisateurs des données qu’elles fournissent. On trouvera des détails sur la conception de ces plateformes dans (Virone, 2003b) et (Noury, 2005b).

2.1 Habitats Intelligents pour la Santé - Plateformes

Nous avons eu à notre disposition deux plateformes qui ont servi de support à nos travaux : la plateforme expérimentale HIS au laboratoire TIMC et la plateforme grenobloise du projet AILISA. Dans un premier temps, la plateforme HIS nous a aidés à simuler 2 scénarii de la vie quotidienne d’une personne âgée. Les données simulées nous ont permis de comprendre le fonctionnement des capteurs et de tester des méthodes de traitement préliminaire. Dans l’étape suivante, la plateforme AILISA nous a fourni des données de la vie courante de deux personnes âgées que nous traitons et utilisons pour valider notre processus de traitement de données.

2.1.1 Plateforme HIS de Grenoble

Un local du laboratoire TIMC Grenoble a été équipé pour installer une plateforme expérimentale de l’habitat intelligent pour la santé où on peut faire des simulations, des expérimentations ou valider des recherches. Cette réalisation constitue un prototype d’appartement de type T1 (environ 30 m²), comprenant les zones d’habitat classiques que sont la chambre, le séjour, la

cuisine, les toilettes, la douche et un couloir. Une zone technique attenante à l'appartement a été ajoutée afin de recevoir le système informatique d'expérimentation du projet.

Les types de capteurs installés et leurs positions sont présentés dans la Figure 2-1 [Virone, 2003b].

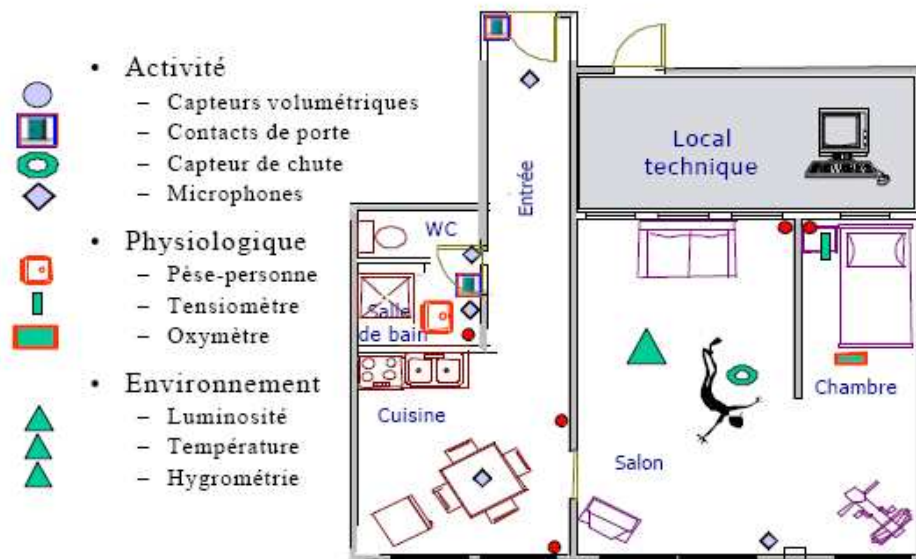


Figure 2-1 – Types de capteurs installés et leurs positions dans l'habitat

Dans nos traitements, nous n'utilisons que les données provenant des capteurs de présence (capteurs infrarouges passifs et contacts magnétiques) qui détectent l'endroit de l'occupant dans l'habitat et ses déplacements (passages d'une pièce à une autre). Il y a sept capteurs de présence (un par pièce). Ce sont :

- Cinq détecteurs infrarouges pyroélectriques (DP8111 – Atral, France), sensibles aux variations de rayonnement infrarouge engendrées lors de déplacements ou mouvements d'une personne. Ces capteurs délivrent des événements et non des états : si la personne s'immobilise devant le capteur, elle n'est plus détectée. On suppose donc que la personne se trouve dans la pièce où elle a été détectée le plus récemment. Trois types de lentilles sont disponibles :
 - ◆ volumétrique : distance de détection de 12 mètres pour un angle de 90°
 - ◆ linéaire : distance de détection de 25 mètres pour un angle de 20°

- ◆ rideau : distance de détection de 10 mètres pour un angle de 10°.
- Deux émetteurs universels (DP8211 - Atral, France) contact magnétique de porte détectant l'ouverture ou la fermeture de porte.

Les capteurs volumétriques ont été installés dans les pièces suivantes : la chambre (repérage de périodes de repos ou de sommeil), le salon (divertissements, repos), la cuisine (repas, vaisselle,...), le volume 'douche' du cabinet. Le hall d'entrée est équipé d'un capteur de type 'linéaire'. Les contacts magnétiques de porte ont été installés sur la porte d'entrée et sur la porte des WC. La fréquence d'échantillonnage des capteurs de présence est de 1 Hz.

Nous avons utilisé cette plateforme HIS pour simuler 2 scénarii de la vie quotidienne d'une personne âgée. Le premier scénario, ayant une durée d'une trentaine de minutes, a été réalisé 2 fois en novembre 2005. L'analyse des déclenchements de capteurs enregistrés nous ont permis de comprendre le fonctionnement des capteurs. Le deuxième scénario, reproduisant en environ 2 heures et demie les différentes AVQ réalisées dans une journée (voir Figure 4-19, annexe B), a été réalisé une fois en janvier 2006. Nous avons utilisé les données obtenues pour effectuer un premier réglage des paramètres de la méthode de traitement séquentiel et essayer la reconnaissance d'activités par le modèle de Markov caché.

2.1.2 Plateforme AILISA de Grenoble

La plateforme grenobloise du projet AILISA est composée de deux appartements du foyer Notre Dame à Grenoble [Noury, 2005b]. Ces deux appartements sont équipés de capteurs infrarouges passifs et habités chacun par une personne âgée. Les occupants ont accepté que leurs activités quotidiennes soient étudiées. La disposition des capteurs est représentée sur la Figure 2-2.



Figure 2-2 - Plan et disposition des capteurs infrarouges de la plateforme AILISA

Les capteurs ont été placés afin de détecter les activités auxquelles on s'intéresse (dormir sur le lit, déjeuner dans la cuisine ou dans le salon, etc.). Ils sont ainsi disposés dans 7 secteurs déterminés : entrée - capteur numéro 0, salon - capteur numéro 1, chambre - capteur numéro 2, WC - capteur numéro 3, cuisine - capteur numéro 5, douche - capteur numéro 6 et lavabo - capteur numéro 7, correspondant aux endroits où sont réalisées les activités quotidiennes de l'occupant. Tous les mouvements effectués par l'occupant sont détectés et enregistrés par les capteurs.

La Figure 2-3 présente quelques photographies permettant de visualiser les capteurs dans un appartement.



Figure 2-3 - Installation des capteurs dans un appartement

Les capteurs infrarouges passifs installés dans cette plateforme sont du même type que ceux de la plateforme HIS. Ils possèdent donc les caractéristiques suivantes :

- les capteurs délivrent des événements et non des états : si la personne s'immobilise dans la zone de détection du capteur, elle n'est plus détectée. On suppose alors que la personne se trouve dans la zone où elle a été détectée le plus récemment.
- la fréquence d'échantillonnage des capteurs est de 1 Hz.
- dans le cas où plusieurs personnes se trouvent simultanément dans l'appartement, ce type de capteur ne permet pas de distinguer l'occupant à surveiller des autres.

Les capteurs ont été installés de manière à éviter le recouvrement des zones de détection. Il n'est cependant pas toujours possible d'éviter ce recouvrement car on ne maîtrise pas le diagramme de la « lentille de fresnel » placée à l'avant du capteur. Dans certaines pièces (comme la salle de bain), les zones de détection des capteurs infrarouges ne sont pas complètement disjointes. Si un mouvement de l'occupant fait déclencher en même temps deux capteurs, un seul déclenchement sera enregistré par le système et c'est le premier qui arrive au récepteur.

Les données reçues de la plateforme AILISA sont enregistrées, en permanence. Ce n'est pas une simulation ni un scénario supervisé.

2.2 Type de données

2.2.1 Données fournies par les capteurs

Le mouvement de l'occupant dans la zone de détection d'un capteur infrarouge fait déclencher ce capteur. Chaque déclenchement d'un capteur est enregistré avec la date, l'heure de l'occurrence et le numéro du capteur sous la forme :

Détection [Date] [Heure] [Numéro de capteur]

Avec :

Date [Jour] [Mois] [Année]

Heure [Heure] [Minute] [Seconde]

La Figure 2-4 présente un extrait des données enregistrées par les capteurs.

01 05 2005 06 33 45	2
01 05 2005 06 33 46	0
01 05 2005 06 33 48	0
01 05 2005 06 33 49	3
01 05 2005 06 33 50	7

Figure 2-4 - Exemple de données en ligne des capteurs

2.2.2 Données fournies par des questionnaires

Dans le but d'évaluer le niveau de dépendance de l'occupant, nous avons besoin de reconnaître les activités réalisées par l'occupant dans une journée. Pourtant, l'information fournie par les capteurs ne suffit pas pour inférer l'activité réalisée. C'est pourquoi nous avons élaboré un questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant (voir annexe A.2) afin d'avoir des données complémentaires sur les activités réalisées par l'occupant dans une journée. Dans le questionnaire, nous posons des questions sur l'heure habituelle, l'endroit habituel et la durée de réalisation des AVQ de l'occupant. C'est l'occupant qui répond au questionnaire. Le Tableau 2-1 présente la réponse au questionnaire de l'occupant vivant dans le premier appartement de la plateforme AILISA.

Tableau 2-1 - Habitudes de vie de l'occupant vivant dans le premier appartement

Réponse au questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant 1

Activité	Horaire	Toilette	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais			
Réveil	06:00	Matin	x						
Lever	07:00	Tantôt				x			
Prise petit-déjeuner	07:00	Soir			x				
Déjeuner	11:00	Où faites-vous votre toilette ?		Lavabo	Douche				
Dîner	18:00			x	x				
Toilette	8:00 - 9:00	Habillage		Toujours	Souvent	Parfois	Jamais		
Habillage	après toilette	Après lever					x		
Coucher	20:00	Après toilette	x						
Sommeil	02:00	Où vous habillez-vous ?		SdB	Placard				
				x					
Repas	Préparation	Prise	Où êtes-vous pendant la préparation du repas ?			Canapé	Table	Cuisine	
Petit-déjeuner	2'	30'						x	
Déjeuner	15'	15'							
Dîner	5'	10'							
Lieux habituels	Canapé	Table	Extérieur	Autre	Vaisselle	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais
Petit-déjeuner		x			Après repas		x		
Déjeuner		x			Plus tard			x (le soir)	
Dîner		x							
Sorties	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais	Lavage linge	MàL	Laverie	Lavabo	
Matin	x						parfois	x	
Tantôt				x		Canapé	Table	Autre	
Soir				x	Durée journalière : 1h	Lecture	x		
						Télévision	x		

Le Tableau 2-2 présente la réponse au questionnaire de l'occupant vivant dans le deuxième appartement de la plateforme AILISA.

Tableau 2-2 - Habitudes de vie de l'occupant vivant dans le deuxième appartement

Réponse au questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant 2

Activité	Horaire		Toilette	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais	
Réveil	08:15	(se lève plusieurs fois la nuit)	Matin	x				(rafraichissement)
Lever	08:30		Tantôt				x	
Prise petit-déjeuner	08:30	(préparé la veille)	Soir	x				
Déjeuner	12:15		Où faites-vous votre toilette ?		Lavabo	Douche		
Dîner	18:45				x			(jamais douche)
Toilette			Habillage		Toujours	Souvent	Parfois	Jamais
Habillage	10:00	(après le ménage)	Après lever					x
Coucher	20:00	(21:00 maxi)	Après toilette					x
Sommeil	22:30	(mais sommeil plus tard, avec quelques levers, ex : 3 fois aux toilettes 0h, 3h, 6h)	Où vous habillez-vous ?		SdB	Placard	Autre	
							salon	
Repas			Vaisselle		Toujours	Souvent	Parfois	Jamais
Petit-déjeuner	Préparation	Prise	Après repas		x			
Déjeuner	2'	20'	Plus tard					x
Dîner	15'	15'	Où êtes-vous pendant la préparation du repas ?		Canapé	Table	Cuisine	
							x	
Lieux habituels			Lavage linge		MàL	Laverie	Lavabo	
Petit-déjeuner	Canapé	Table	Extérieur	Autre		toujours	parfois	
Déjeuner		x						
Dîner		x						
Sorties			Canapé		Table	Autre		
Matin	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais				
Tantôt	x				Lecture	x		
Soir				x	Télévision	x		
					Durée journalière : 30' (se sent lasse)			

Nous observons que les 2 occupants ont des habitudes de vie assez différentes, comme l'heure de lever, l'heure de prise de repas, l'endroit pour faire la toilette ou s'habiller.

Le rythme de vie et les informations sur les AVQ de l'occupant issus du questionnaire, sont utilisés pour définir des séquences d'états représentant chaque AVQ et des règles pertinentes de reconnaissance d'activités dans le chapitre suivant. Par exemple, l'habillage est une activité difficile à détecter. Grâce au questionnaire, nous savons que dans le premier appartement, l'activité d'habillage a lieu souvent après la toilette et dans la salle de bain.

2.3 Correction des données fournies par les capteurs

2.3.1 Principe

Dans la plateforme AILISA, les capteurs infrarouges passifs installés possèdent les caractéristiques suivantes:

- les capteurs délivrent des événements et non des états : si la personne s’immobilise dans la zone de détection du capteur, elle n’est plus détectée.
- la fréquence d’échantillonnage des capteurs est de 1 Hz.

Les deux caractéristiques précédentes sont la cause de deux types d’incohérences sur les données enregistrées :

- le premier type d’incohérence (TYPE 1) que nous avons pu relever est l’absence de déclenchement du capteur de la zone intermédiaire : en théorie, dans le cas de la plateforme AILISA, si l’occupant quitte la chambre (capteur 2) pour se rendre devant le lavabo (capteur 7), son déplacement doit faire déclencher le capteur de l’entrée (capteur 0) – zone intermédiaire. En réalité, la fréquence d’échantillonnage des capteurs étant d’une fois par seconde, si l’occupant se déplace assez vite, il peut ne pas faire déclencher le capteur de l’entrée lorsqu’il passe dans la zone de détection de ce capteur, son mouvement dans cette zone n’est alors pas enregistré.
- le deuxième type d’incohérence (TYPE 2) que nous avons pu relever est l’absence de déclenchement d’un capteur quand l’occupant sort de sa zone de détection. Par exemple, l’occupant entre dans la chambre (capteur 2) et fait déclencher le capteur de la chambre. Ce déclenchement est enregistré par le système. Ensuite, il est immobile pendant quelques minutes et ne provoque aucun déclenchement du capteur de la chambre. Après, il va assez vite à la cuisine, sans faire déclencher le capteur de la chambre. Son mouvement est alors détecté par le capteur de la cuisine (capteur 5). La séquence des déclenchements enregistrés par le système est $\begin{matrix} 1\ 05\ 2005\ 07\ 10\ 00\ 2 \\ 1\ 05\ 2005\ 07\ 15\ 00\ 5 \end{matrix}$ (ou, $\begin{matrix} 1\ 05\ 2005\ 07\ 10\ 00\ 2 \\ 1\ 05\ 2005\ 07\ 15\ 00\ 5 \end{matrix}$ de façon agrégée ‘25’) au lieu de la bonne séquence $\begin{matrix} 1\ 05\ 2005\ 07\ 14\ 59\ 2 \\ 1\ 05\ 2005\ 07\ 15\ 00\ 5 \end{matrix}$ (ou, de façon agrégée ‘225’).

De plus, dans certaines pièces (comme dans la salle de bain), les zones de détection des capteurs infrarouges ne sont pas complètement disjointes. Cette distribution permet au système de capteurs de détecter en permanence l’occupant. Pourtant, si un mouvement de l’occupant fait déclencher en même temps deux capteurs, un seul déclenchement sera enregistré par le système :

celui qui arrive en premier au récepteur. Ce défaut provoque un troisième type d'incohérence (TYPE 3), qui se traduit par un entrelacement des déclenchements enregistrés. Par exemple, l'occupant est dans la salle de bain et il se déplace de la douche (capteur 6) vers le lavabo (capteur 7). Au lieu de fournir la séquence de déclenchements enregistrés '67', le système peut donner des séquences du type : '67677' ou '63677' où 3 est le capteur des WC.

Pour traiter les trois points mentionnés ci-dessus, nous avons intégré une étape de correction en tête de notre processus de traitement et d'analyse de données, afin de repérer les incohérences dans les données enregistrées et de les corriger. Dans l'étape de correction des données, nous réalisons en premier lieu les corrections pour les incohérences TYPE 3 (entrelacement des déclenchements des capteurs dans les zones non disjointes), ensuite les corrections pour les incohérences TYPE 1 (absence de déclenchement du capteur de la zone intermédiaire) et enfin celles pour les incohérences TYPE 2 (absence de déclenchement d'un capteur quand l'occupant sort de sa zone de détection) (voir Figure 2-5).

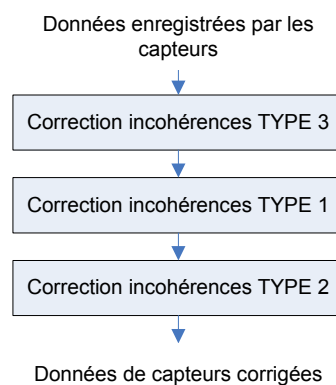


Figure 2-5 – Processus de l'étape de correction des données

2.3.2 Méthode

Pour corriger les incohérences TYPE 1, on cherche l'absence des déclenchements des capteurs intermédiaires dans la séquence des déclenchements enregistrés et on ajoute les déclenchements appropriés. Dans la configuration des appartements de la plateforme AILISA, l'entrée (capteur 0) est la seule zone intermédiaire. L'algorithme de cette correction est présenté dans la Figure 2-6, où les notations suivantes sont utilisées :

- Cap(i) : numéro du capteur correspondant au $i^{\text{ème}}$ déclenchement.

- Cap(x:y) : l'ensemble des numéros de capteurs compris entre le x^{ème} déclenchement et le y^{ème} déclenchement.
- Temps(i) : l'heure du i^{ème} déclenchement.
- Temps(x:y) : les heures de tous les déclenchements compris entre le x^{ème} déclenchement et le y^{ème} déclenchement.
- Cap : ensemble des numéros de capteurs.
- Temps : ensemble des heures de tous les déclenchements.
- numel(Cap) et numel(Temps) : le nombre de déclenchements des capteurs.

```

Si Cap(i) ≠ Cap(i+1) et Temps(i)+1 ≠ Temps(i+1)
Alors :
Si Cap(i) = 1,2,5 et Cap(i+1) = 3,6,7 ou Cap(i) = 3,6,7 et Cap(i+1) = 1,2,5
Alors :
Cap = [Cap(1:i) 0 Cap(i+1: numel(Cap))]
Temps = [Temps(1:i) (Temps(i+1)-1) Temps(i+1: numel(Temps))]

```

Figure 2-6 – Algorithme de correction des incohérences TYPE 1

Dans cet algorithme, on considère que si entre le déclenchement d'un des capteurs 1 (salon), 2 (chambre) ou 5 (cuisine) et le déclenchement d'un des capteurs 3 (WC), 6 (douche) ou 7 (lavabo), il n'existe pas un déclenchement du capteur 0 (entrée), alors on ajoute un déclenchement du capteur 0 entre les 2 déclenchements.

Comme les capteurs délivrent des événements et non des états : si la personne s'immobilise dans la zone de détection du capteur, elle n'est plus détectée. On suppose alors que la personne se trouve dans la zone où elle a été détectée le plus récemment. Pour les incohérences TYPE 2, si la durée entre les déclenchements de deux capteurs de zones différentes est supérieure à une seconde, on ajoute un déclenchement du premier capteur entre les 2 déclenchements. Par exemple, on remplace la séquence '1^{er} capteur – 2^e capteur' par la séquence '1^{er} capteur – 1^{er} capteur – 2^e capteur'. L'algorithme de cette correction est présenté dans la Figure 2-7.

```

Si Cap(i) ≠ Cap(i+1) et Temps(i)+1 ≠ Temps(i+1)
Alors :
Cap = [Cap(1:i) Cap(i) Cap(i+1: numel(Cap))]
Temps = [Temps(1:i) (Temps(i+1)-1) Temps(i+1: numel(Temps))]

```

Figure 2-7 – Algorithme de correction des incohérences TYPE 2

Pour corriger les incohérences TYPE 3, on cherche dans les déclenchements enregistrés de tous les capteurs situés en dehors de la salle de bain (capteurs de l'entrée, du salon, de la chambre et de la cuisine) la séquence de déclenchements ayant la forme 'capteur A – capteur B – capteur A' et on la remplace par la séquence 'capteur A – capteur A – capteur A'. L'algorithme de cette correction est présenté dans la Figure 2-8.

Si $\text{Cap}(i) \neq 3,6,7$ et $\text{Cap}(i) \neq \text{Cap}(i+1)$ et $\text{Cap}(i) = \text{Cap}(i+2)$ Alors $\text{Cap}(i+1) = \text{Cap}(i)$
--

Figure 2-8 - Algorithme de correction des incohérences TYPE 3 (hors salle de bain)

Dans le cas particulier de la salle de bain, l'entrelacement des déclenchements des 3 capteurs (capteurs des WC, de la douche et du lavabo) ne nous permet pas de distinguer, sur la courbe de déclenchements des capteurs d'une journée, les périodes où l'occupant était aux WC, sous la douche ou devant le lavabo (voir Figure 2-9).

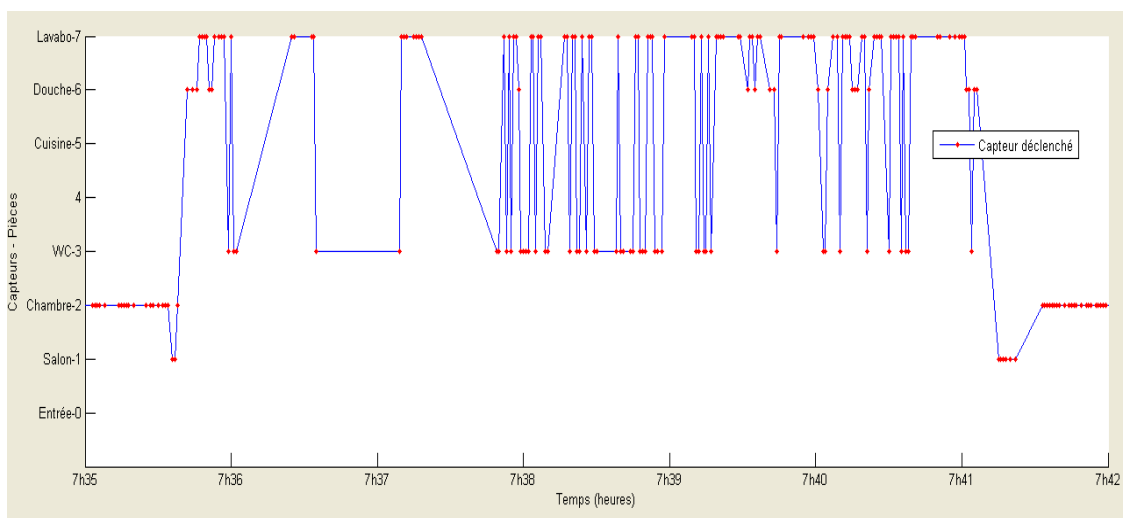


Figure 2-9 - Déclenchements des capteurs dans la salle de bain

Pour résoudre ce problème, dans un premier temps, nous avons supposé que chaque fois que l'occupant entre dans la salle de bain, il réalise une seule activité importante. Nous calculons la durée pendant laquelle l'occupant est détecté par chacun des trois capteurs. Le capteur ayant la durée de détection la plus longue, est considéré comme étant le capteur principal, et nous remplaçons les déclenchements de deux autres capteurs par celui du capteur principal. La Figure 2-10 présente les déclenchements des capteurs de la Figure 2-9 après la correction.

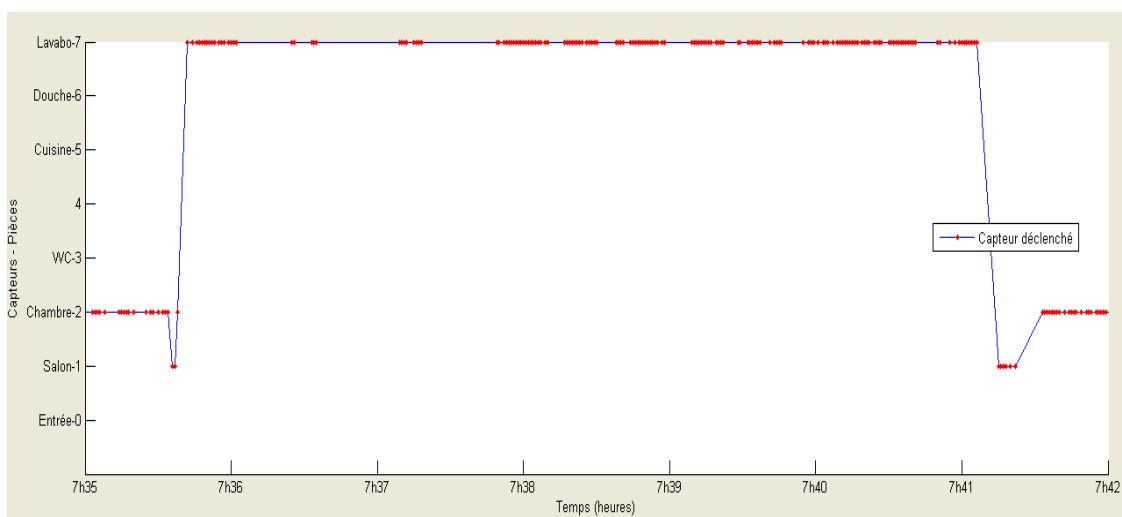


Figure 2-10 - Déclenchements des capteurs dans la salle de bain après la correction

Les déclenchements du capteur 3 (WC) et du capteur 6 (douche) sont remplacés par les déclenchements du capteur 7 (lavabo).

Mais, en analysant le journal d'activités pendant 24h de l'occupant vivant dans le deuxième appartement de la plateforme AILISA, nous avons constaté que l'occupant peut faire plus d'une activité importante chaque fois qu'il entre dans la salle de bain. Alors, pour trouver une solution de correction, nous proposons de trier et classer les déclenchements des capteurs dans la salle de bain selon l'ordre de priorité : déclenchements du capteur des WC - déclenchements du capteur de la douche - déclenchements du capteur du lavabo. La Figure 2-11 présente les déclenchements des capteurs de la Figure 2-9 après cette solution de correction.

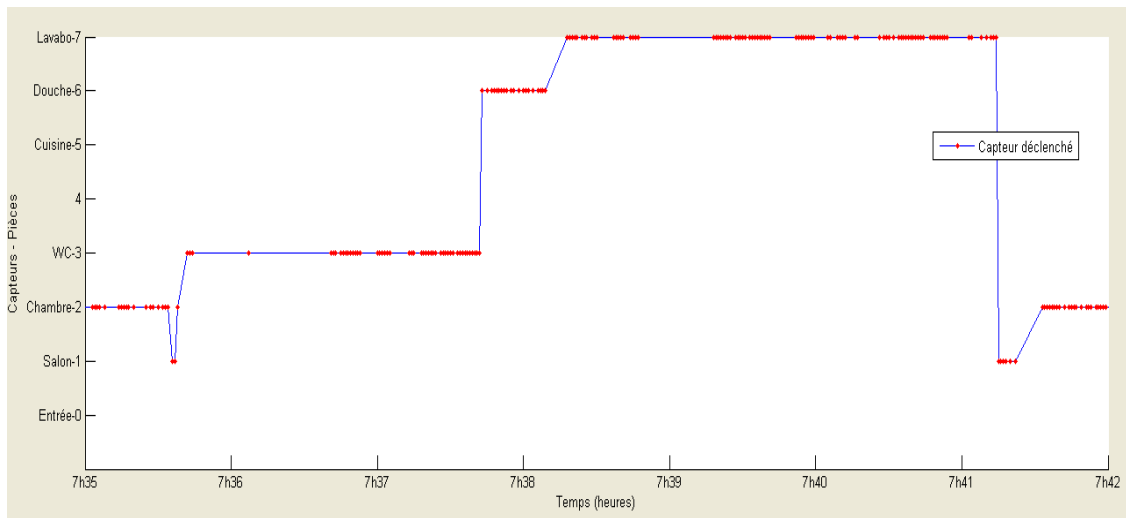


Figure 2-11 - Déclenchements des capteurs dans la salle de bain après la correction adaptée

Nous choisissons cet ordre de priorité en nous basant sur l'importance de l'activité 'aller aux toilettes' et de l'activité de 'prise d'une douche' par rapport aux activités réalisées au lavabo (lavage des mains, brossage des dents, habillage...), et sur la raison logique de l'hygiène : se laver les mains après être allé aux toilettes. L'algorithme de cette correction est présenté dans la Figure 2-12, où les notations suivantes sont utilisées :

Depart : l'instant où l'occupant entre dans la salle de bain.

Fin : l'instant où l'occupant sort de la salle de bain.

CapWC (CapDouche, CapLavabo) : l'ensemble des déclenchements du capteur des WC (de la douche, du lavabo) dans cette période.

```

% Déterminer le départ :
Si Cap(i) ≠ 3,6,7 et Cap(i+1) = 3,6,7
Alors Depart = i+1

% Déterminer la fin :
Si Cap(i) = 3,6,7 et Cap(i+1) ≠ 3,6,7
Alors Fin = i

% Trier et classer les déclenchements :
Pour j = Départ à Fin,
Si Cap(j) = 3 Alors :
CapWC = [CapWC Cap(j)]
Si Cap(j) = 6 Alors :
CapDouche = [CapDouche Cap(j)]
Si Cap(j) = 7 Alors :
CapLavabo = [CapLavabo Cap(j)]

% Combiner :
Cap = [CapWC CapDouche CapLavabo]

```

Figure 2-12 - Algorithme de correction des incohérences TYPE 3 dans la salle de bain

Dans l'algorithme de cette correction, on va chercher les moments où l'occupant entre et sort de la salle de bain dans la séquence de déclenchements des capteurs. Ensuite, on trie et classe les déclenchements dans cette période en 3 groupes : déclenchements du capteur des WC, déclenchements du capteur de la douche et déclenchements du capteur du lavabo. Après, on combine les 3 groupes suivant l'ordre « WC-douche-lavabo » pour obtenir la correction des déclenchements des capteurs dans cette période. Après la correction, la durée et le nombre des déclenchements sont conservés. Nous sommes conscients que cette correction n'est pas complètement satisfaisante, mais elle a l'avantage de conserver de façon simple toutes les activités pouvant être réalisées dans la salle de bain, ce qui est important pour l'étape de reconnaissance des activités traitées dans le paragraphe 3.3.

Une autre correction est aussi proposée : se fixer des plages de 30s (ou 1 minute) et ne retenir que le capteur qui se déclenche le plus dans la plage. Le choix de la largeur des plages est assez difficile. Si la plage est grande et le temps passé dans la salle de bain de l'occupant est inférieur à cette plage, le résultat de cette correction sera le même que celui de la Figure 2-10. Si on choisit une petite plage, le résultat obtenu peut contenir encore des entrelacements. Il nous semble que l'entrelacement des déclenchements des capteurs dans la salle de bain est trop complexe pour qu'on puisse le corriger simplement par des algorithmes. Ce problème pourrait être évité en disposant ces capteurs de manière à ce que leurs zones de détection soient disjointes, ce qui est hors du cadre de la thèse.

Les données des capteurs, après corrections, constituent l'entrée de la méthode de traitement de données et de fusion d'informations présentée dans le chapitre suivant.

2.4 Avantages et limitations des capteurs utilisés

Dans la plateforme AILISA, on utilise des capteurs infrarouges passifs pour suivre l'activité de l'occupant. Ces capteurs ne sont pas coûteux. Ils sont fixés sur les murs et non portés par l'occupant. Ils ne causent alors aucun dérangement sur les mouvements de l'occupant. L'installation et la maintenance d'un tel système de capteurs est simple et non coûteux. D'ailleurs, ces capteurs fonctionnent de façon passive, sans avoir besoin du concours de l'occupant pour les porter et/ou les charger. Ils ne font pas changer les habitudes de vie de l'occupant. Ces capteurs détectent et enregistrent les mouvements de l'occupant et non des

images ni du son. Ils ne dérangent pas l'intimité de l'occupant. Grâce à ces avantages, ce type d'HIS a donc de fortes probabilités d'être accepté par les personnes âgées et d'être diffusé largement.

Pourtant, les données fournies par les capteurs ne contiennent pas beaucoup d'informations directes sur l'activité et l'état de l'occupant. Les méthodes de traitement de données doivent donc compenser cette limitation.

Dans un HIS général, l'ensemble des types de capteurs peut être installé pour la surveillance d'activités humaines (voir Figure 2-13). Une gamme de capteurs comportementaux (Tableau 1-5 précédent) peut être utilisée pour déterminer où une personne se trouve et quels objets elle a utilisé, ainsi que pour obtenir une évolution générale de son niveau d'activité. Cette information peut être utilisée pour inférer les activités quotidiennes qui ont été réalisées et peut être combinée avec l'information physiologique, pour mener à une évaluation générale de l'état de santé de la personne surveillée.

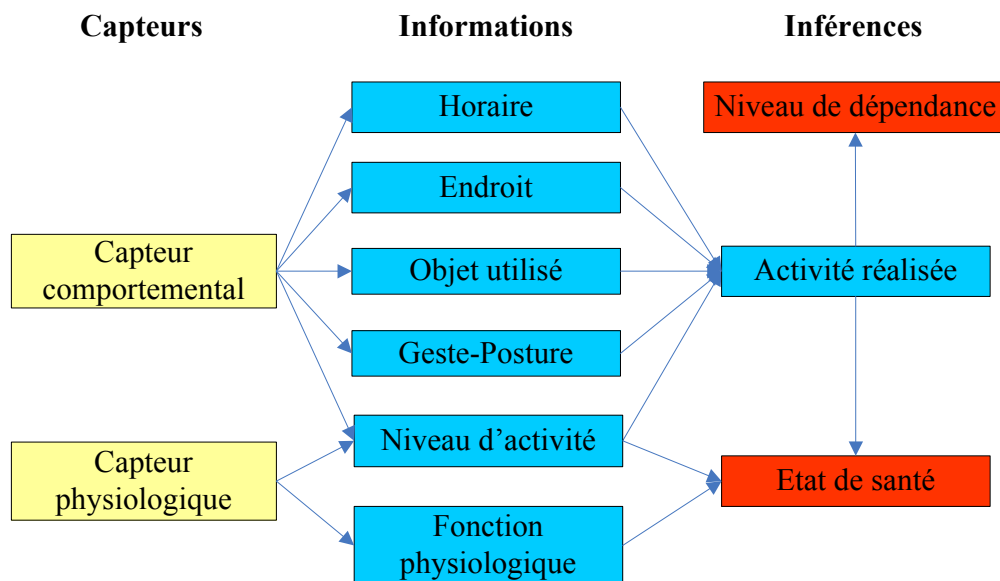


Figure 2-13 – Information pour la surveillance d'activités dans un HIS général

Dans la plateforme AILISA, un seul type de capteur comportemental, le capteur infrarouge passif, est utilisé pour suivre l'activité de l'occupant. Les données enregistrées par ce type de capteur nous permettent de déterminer où l'occupant se trouve et à quel moment. Dans notre étude, nous avons besoin de reconnaître les activités réalisées par l'occupant pour évaluer son

niveau de dépendance. Nous utilisons les habitudes de vie de l'occupant, obtenues grâce au questionnaire, comme complément d'information pour l'inférence des activités réalisées (voir Figure 2-14).

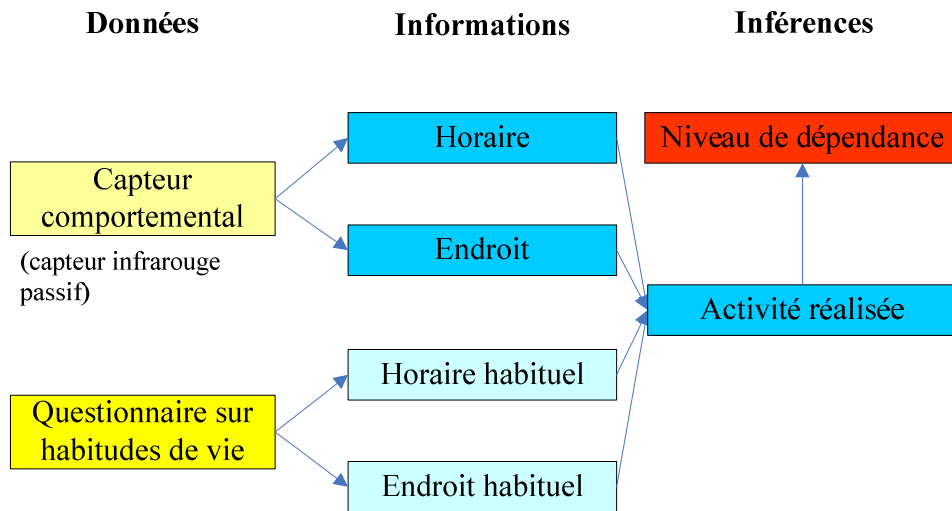


Figure 2-14 – Fusion d'informations pour la surveillance d'activités dans le cadre de notre étude
La méthode de fusion d'informations, pour inférer l'activité, est développée dans le chapitre suivant.

Chapitre 3

Méthode développée

Ce chapitre présente la méthode de traitement de données et de fusion d'informations que nous proposons pour répondre à notre cas d'étude et à notre objectif de thèse.

3.1 Principe de la méthode

Comme nous l'avons présenté dans le chapitre précédent, notre plateforme d'étude (la plateforme AILISA) utilise des capteurs infrarouges passifs pour suivre l'activité de l'occupant. Dans la plateforme, chaque mouvement de l'occupant, qui est détecté, est enregistré dans un fichier sous la forme d'une ligne contenant des informations sur l'instant et sur le lieu du mouvement. A partir des données, nous cherchons à développer une méthode de traitement et d'analyse de données, qui nous aide à suivre l'évolution du rythme de vie de l'occupant pour évaluer son état d'autonomie et signaler la détection d'une perte d'autonomie. Le schéma fonctionnel de cette méthode est présenté par la Figure 3-1. Il comporte deux entrées et une sortie.

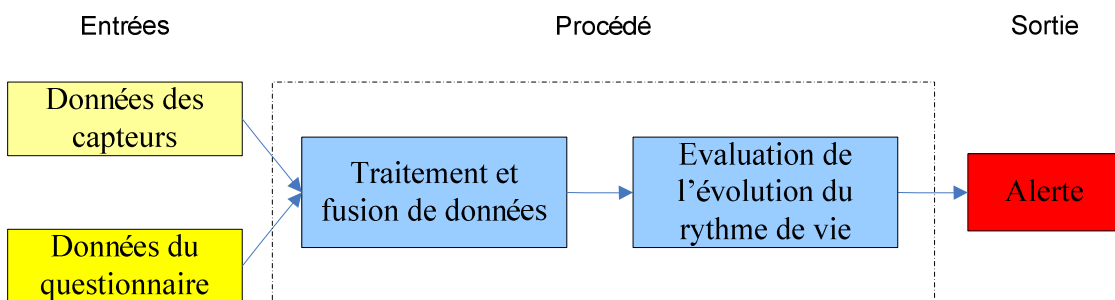


Figure 3-1 – Schéma fonctionnel de la méthode de traitement et d'analyse de données

La première entrée du procédé de traitement de données est la liste des déclenchements des capteurs provoqués par les mouvements de l'occupant, et enregistrés par le système des capteurs infrarouges passifs. La deuxième entrée du procédé est la connaissance sur les habitudes de vie de l'occupant, issue d'un questionnaire complété par l'occupant. La sortie du procédé est un

message ou une alerte sur l'état d'autonomie de l'occupant, envoyé au médecin traitant, au référent APA ou aux proches de l'occupant.

Le schéma détaillé de la méthode de traitement et d'analyse de données est présenté dans la Figure 3-2.

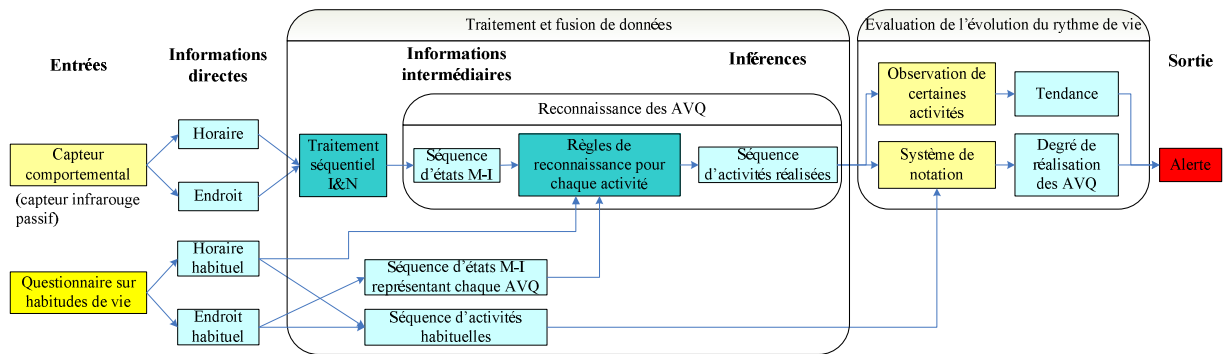


Figure 3-2 - Schéma détaillé de la méthode de traitement et d'analyse de données

Dans ce schéma, on voit que les informations directes sur l'horaire et l'endroit des mouvements de l'occupant sont transformées en une séquence d'états mobiles et d'états immobiles (appelée « séquence d'états M-I ») par une étape que nous avons appelée « traitement séquentiel I&N » (voir paragraphe 3.2). Le questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant nous fournit les informations directes sur l'horaire et l'endroit habituels de ses activités quotidiennes. L'information sur l'endroit habituel des AVQ est utilisée pour développer des séquences d'états mobile-immobile représentant chaque AVQ. L'information sur l'horaire habituel et la durée habituelle des AVQ est utilisée pour définir des règles pertinentes de reconnaissance. L'ensemble des informations sur l'horaire et l'endroit habituels est utilisé pour construire une séquence d'activités habituelles (ou rythme de vie habituel) de l'occupant dans une journée. Dans l'étape de reconnaissance des activités, la séquence d'états mobile-immobile journalière est transformée en une séquence d'activités réalisées dans cette journée. La reconnaissance des activités s'effectue par des séquences particulières et des règles pertinentes (voir paragraphe 3.3). Nous avons choisi huit activités à reconnaître dans cette étape ; elles correspondent à cinq AVQ définies par Katz [Katz et al., 1963; Katz et al., 1970; Katz, 1983] (toilette, habillage, aller aux toilettes, transfert et alimentation) et à trois activités supplémentaires : le lever, le coucher et les sorties. L'information sur la réalisation des 5 AVQ nous permet d'évaluer l'état d'autonomie de l'occupant. L'information sur l'heure de lever et sur l'heure de coucher est un bon indicateur

pour suivre l'évolution du rythme de vie de l'occupant. Par ailleurs, si l'occupant cesse de sortir, ou change ses habitudes par rapport aux sorties, cela peut indiquer une perte d'autonomie. Notons que nous ne reconnaissons pas directement l'AVQ de transfert, mais nous sommes sûrs de sa réalisation si l'occupant peut se lever et se coucher. Nous avons donc au final 7 activités à reconnaître.

Nous considérons deux approches dans l'étape d'évaluation de l'évolution du rythme de vie (voir paragraphe 3.4). L'une de ces approches cherche les tendances d'évolution de quelques activités particulières représentatives de l'autonomie de la personne (telles que le lever, le coucher ou les sorties) et alerte lorsqu'il y a d'importants changements dans une longue période. Cette approche est présentée en détail dans le paragraphe 3.4.1. L'autre approche compare la séquence d'activités réalisées dans la journée avec la séquence d'activités habituelles, issue du questionnaire, ou construite grâce aux données relevées sur quelques mois précédents. La ressemblance, entre ces deux séquences, sur l'horaire, sur la durée et sur l'ordre chronologique de chaque activité est estimée par un score. Le score pour une journée est la somme des scores de toutes les activités. La variation de ce score, jour après jour, représente l'évolution du rythme de vie de l'occupant. Une grande diminution de ce score sur une longue période (de quelques jours à quelques semaines) peut être un signal de la dégradation de l'état d'autonomie de l'occupant. Cette approche est présentée dans le paragraphe 3.4.2.

En résumé, nous avons trois étapes dans le processus de traitement, qui sont l'étape de traitement séquentiel I&N, l'étape de reconnaissance des activités, et enfin l'étape d'évaluation de l'évolution du rythme de vie. Notons qu'une étape supplémentaire de correction des incohérences de données a été nécessaire avant d'appliquer la méthode proprement dite (voir paragraphe 2.3). Le principe et la méthode développée pour traiter chaque étape sont présentés en détail dans les paragraphes suivants.

Notre méthode de traitement et d'analyse de données a été programmée en langage Matlab et appliquée aux 2 appartements de la plateforme AILISA. Les résultats détaillés font l'objet du chapitre 4. Le programme est présenté dans l'annexe D. Pour faciliter la compréhension de la méthode, dans les paragraphes suivants, nous illustrons ses différentes étapes par quelques résultats obtenus après son application au premier appartement de la plateforme AILISA.

3.2 Etape de traitement séquentiel I et N

3.2.1 Principe

Les données issues des capteurs sont enregistrées sous forme de lignes (voir paragraphe 2.2). Nous proposons une méthode de traitement séquentiel permettant de présenter ces données sous une forme plus facilement interprétable et sur laquelle nous pouvons appliquer les méthodes de reconnaissance pour reconnaître les activités de la vie quotidienne réalisées par une personne âgée dans une journée. Cette méthode analyse les mouvements de l'occupant qui ont été enregistrés par les capteurs et produit une séquence d'états, ou une liste d'états, mobile - immobile de l'occupant dans chaque pièce, sous la forme :

- d'une suite de couples [Pièce] [Etat] pour la séquence d'états, ou

- d'une suite de quintuplets [Pièce] [Etat] [Durée] [Heure de début] [Heure de fin] pour la liste d'états.

Une illustration de ces séquences et listes d'états est proposée sur la Figure 3-3.

Séquence d'états	Liste des états
5m5i5m4m2m7m6m...3m3i3m7m7i7m2	Chambre-M pd. 3s de 15:27:21 à 15:27:24
numéro : pièces	Chambre-I pd. 943s de 15:27:24 à 15:43:7
m / i : état mobile / immobile	...
	I : Etat immobile de l'occupant
	M : Etat mobile de l'occupant

Figure 3-3 – Exemple d'une séquence d'états et d'une liste d'états

3.2.1.1 Définition de I et N

La méthode de traitement séquentiel recherche les états immobiles en utilisant deux paramètres :

- l'intervalle de temps I, séparant deux déclenchements consécutifs des capteurs. Si la durée entre deux déclenchements consécutifs des capteurs est supérieure ou égale à l'intervalle I, on considère que l'on a un état immobile de l'occupant dans cette pièce (la zone de détection du capteur). L'intervalle de temps I permet de caractériser le séjour de l'occupant dans une pièce comme un état mobile ou un état immobile. Autrement dit, il transforme la forme de données de déclenchements des capteurs en

états mobile-immobile. Notons que plus I est grand et moins on aura d'états immobiles.

- le nombre de déclenchements N, séparant deux états immobiles consécutifs. Deux états immobiles dans une même pièce seront considérés comme disjoints, ou différents, si le nombre de déclenchements de capteurs entre la fin du premier état immobile et le début du deuxième est supérieur ou égal à N. Sinon, les deux états immobiles seront considérés comme un même état immobile et on les combine. Le nombre de déclenchements N permet de combiner les états immobiles dans une pièce. Autrement dit, il permet d'agréger les données obtenues. Notons que, plus N est grand, plus on élimine d'états mobiles entre des états immobiles.

Par exemple, avec $I = 10s$ et $N = 5$, les critères deviennent : si la durée entre deux déclenchements consécutifs est supérieure ou égale à 10s, on a un nouvel état immobile. Si ce nouvel état immobile se passe dans la même pièce que l'état immobile précédent, il faut au moins 5 déclenchements des capteurs entre ces deux états immobiles pour que le deuxième état immobile soit considéré comme disjoint de l'état immobile précédent.

3.2.1.2 Choix de I et N

Dans un premier temps, la plateforme HIS nous a aidés à simuler deux scénarii de la vie quotidienne d'une personne âgée. On a utilisé ces simulations pour fixer expérimentalement les valeurs de I et de N de façon à ce que la liste des états mobiles et immobiles trouvée par notre méthode soit la plus proche possible du scénario simulé. Cette étude a permis de constater qu'il existe des plages de valeurs pour I et N permettant d'obtenir des états mobiles et immobiles proches du scénario simulé.

Pour la plateforme AILISA, nous ne disposons pas d'un scénario supervisé. Il a donc fallu trouver une autre façon de déterminer I et N. Nous avons testé différentes approches :

- 1) Dans un premier temps, nous avons utilisé les valeurs de I et N trouvées pour le HIS ($I = 10$ et $N = 5$). Ces valeurs étaient les mêmes pour tous les endroits et tous les jours.
- 2) Nous avons ensuite utilisé des valeurs de I et N différentes chaque jour, mais identiques pour tous les endroits. Pour trouver ces valeurs, nous avons élaboré une

procédure de réajustement pour choisir des valeurs appropriées de I et N (voir Figure 3-4).

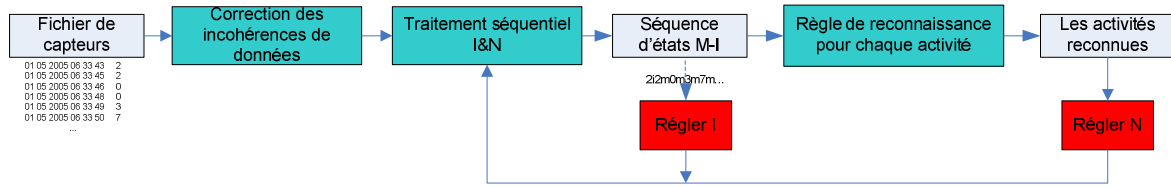


Figure 3-4 - Procédure de réajustement des valeurs de I&N

L'objectif est de trouver une valeur de I aussi grande que possible pour que la séquence d'états mobile - immobile obtenue soit la plus agrégée possible. Nous estimons que : l'occupant est toujours mobile dans la cuisine, devant le lavabo ou sous la douche. On augmente donc la valeur de I pour qu'il n'y ait plus d'état immobile détecté dans la cuisine, devant le lavabo, ni sous la douche (parce que des états immobiles dans ces 3 endroits ne correspondent pas aux AVQ de Katz qui nous intéressent). Cependant, une trop grande valeur de I peut faire disparaître des activités de courte durée (comme manger dans le salon par exemple). On fixe alors une borne supérieure de $I = 120s$ pour l'ensemble des pièces sauf les WC (on fixe $I = 15s$ pour les WC car l'activité « aller aux toilettes » est de courte durée par rapport aux autres). Pour le paramètre N, l'objectif est de trouver une valeur de N aussi grande que possible pour que la séquence d'états mobile - immobile obtenue soit la plus agrégée possible. Nous utilisons donc une méthode itérative (voir Figure 3-4) : on augmente la valeur de N jusqu'à ce que la liste des activités reconnues ne change plus. Cependant, une trop grande valeur de N peut faire disparaître des états mobiles de courte durée. Après avoir appliqué cette méthode sur 31 jours de données provenant du premier appartement de la plateforme AILISA, nous avons observé que la valeur $N = 5$ est satisfaisante pour ce cas d'étude (cet appartement de la plateforme AILISA et cet occupant).

Nous avons déterminé la valeur de I pour les 31 jours de données provenant du premier appartement de la plateforme AILISA (voir Figure 3-5).

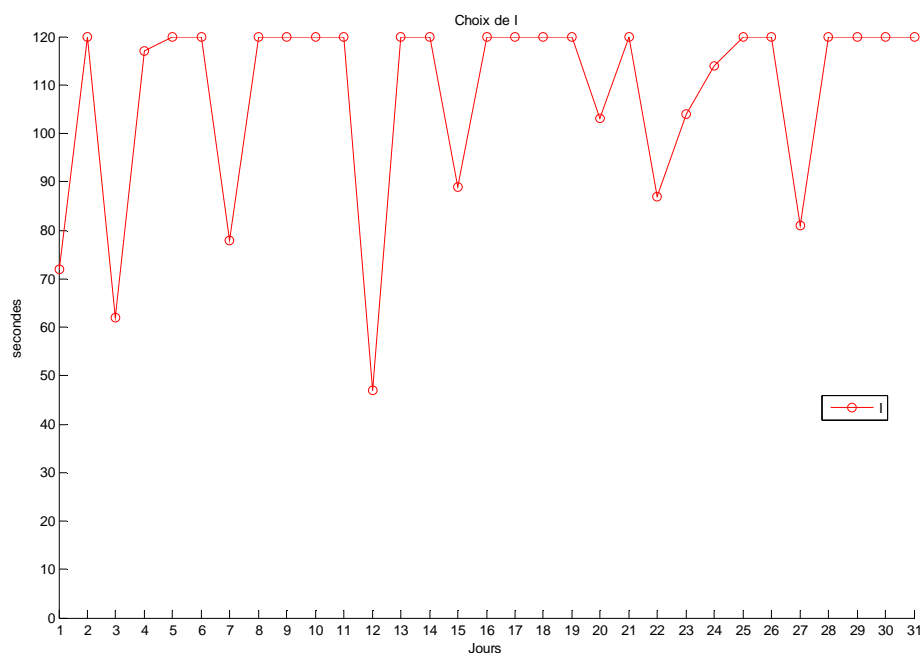


Figure 3-5 - Valeurs de I obtenues pour les 31 jours de données d'AILISA

Nous avons constaté que la valeur de I trouvée avec cette procédure était très souvent égale à sa borne supérieure 120s (20 jours sur 31). La valeur de $I = 120s$ amène parfois à rendre invisibles certaines activités de petite durée ce qui peut entraîner la non-reconnaissance de certaines AVQ, comme la prise de repas par exemple. En effet, comme nous le verrons dans le paragraphe 3.3, nous découpons les AVQ à reconnaître en une succession de petits états, et si l'un de ces états manque, on ne reconnaît pas l'AVQ.

3) Nous avons alors eu l'idée de choisir des valeurs de I différentes pour chaque pièce.

Dans notre étude, une durée de 30s entre deux déclenchements consécutifs du capteur dans le salon est un état immobile intéressant parce qu'il peut correspondre à l'un des états permettant de reconnaître l'activité de prise de repas de l'occupant, alors qu'une durée de 30s entre deux déclenchements consécutifs du capteur dans la chambre n'est pas un état immobile intéressant parce que dans les pièces comme la chambre ou l'entrée, nous ne nous intéressons qu'aux états immobiles de longue durée (de quelques minutes à quelques heures) qui correspondent aux périodes de sommeil ou aux sorties de l'occupant. Nous classons alors les pièces en 3 groupes :

- Le premier groupe comporte la chambre et l'entrée. Dans ces 2 pièces, seuls les états immobiles de longue durée (de quelques minutes à quelques heures) sont intéressants.
- Le deuxième groupe comporte le salon et les WC. Dans ces pièces, les états immobiles de courte durée sont aussi importants parce qu'ils peuvent correspondre aux activités de la vie quotidienne de l'occupant, tels que la prise de repas ou aller aux toilettes.
- Le troisième groupe comporte la cuisine, la douche et le lavabo. En théorie, il n'y a pas d'états immobiles dans ces 3 endroits parce qu'un tel état immobile ne correspond à aucune activité de la vie quotidienne.

Pour les deux premiers groupes, nous proposons de fixer une valeur de I identique pour tous les jours, mais différente pour chaque pièce en nous basant sur un historique des durées entre 2 déclenchements consécutifs des capteurs. Nous utilisons 31 jours de données du mois de mai 2005 provenant du premier appartement de la plateforme AILISA pour construire les histogrammes de la durée entre deux déclenchements consécutifs d'un capteur. La Figure 3-6 présente les histogrammes des 2 capteurs du premier groupe, tronqués à la valeur de 100 ou 200 en ordonnée pour plus de lisibilité (notons que pour les durées de 0 à 10 secondes, les fréquences peuvent atteindre 2000).

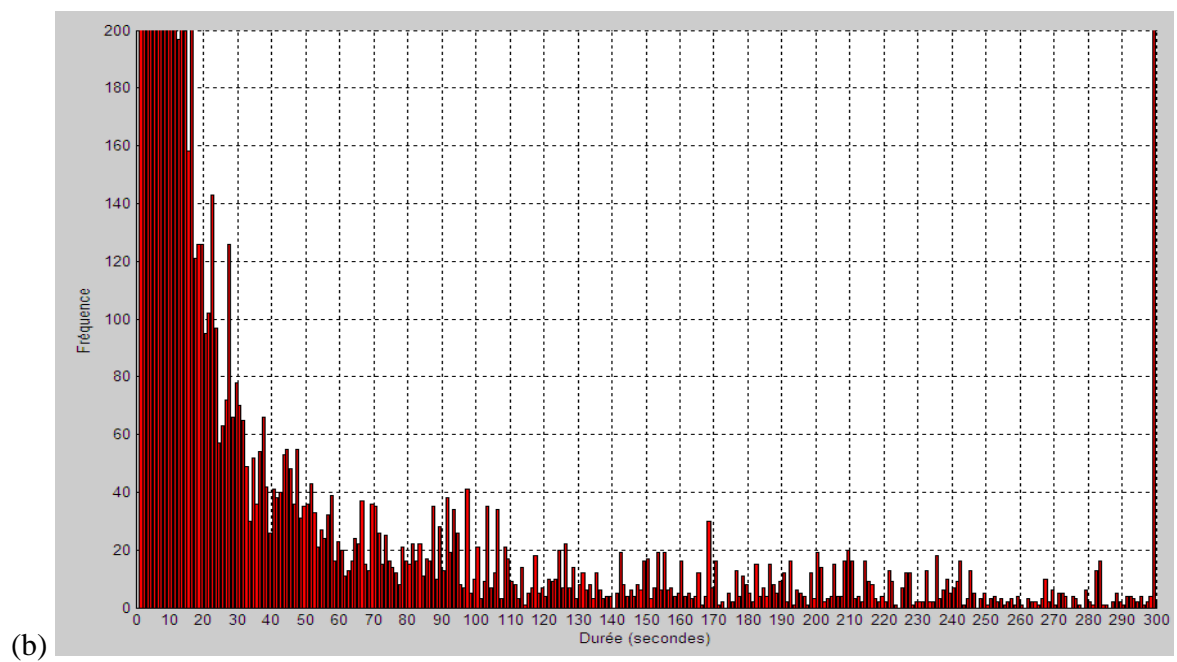
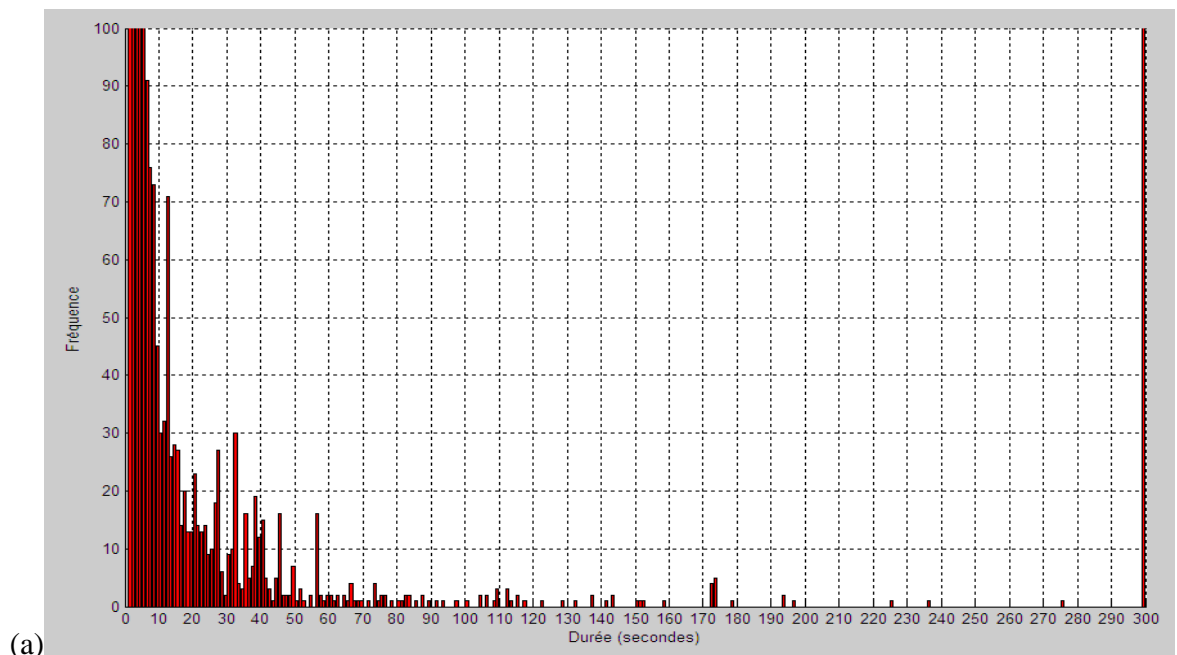


Figure 3-6 - Histogramme de la durée entre deux déclenchements consécutifs du capteur de l'entrée (a), et du capteur de la chambre (b) (intervalle de 1 seconde)

La Figure 3-7 présente les histogrammes des 2 capteurs du deuxième groupe.

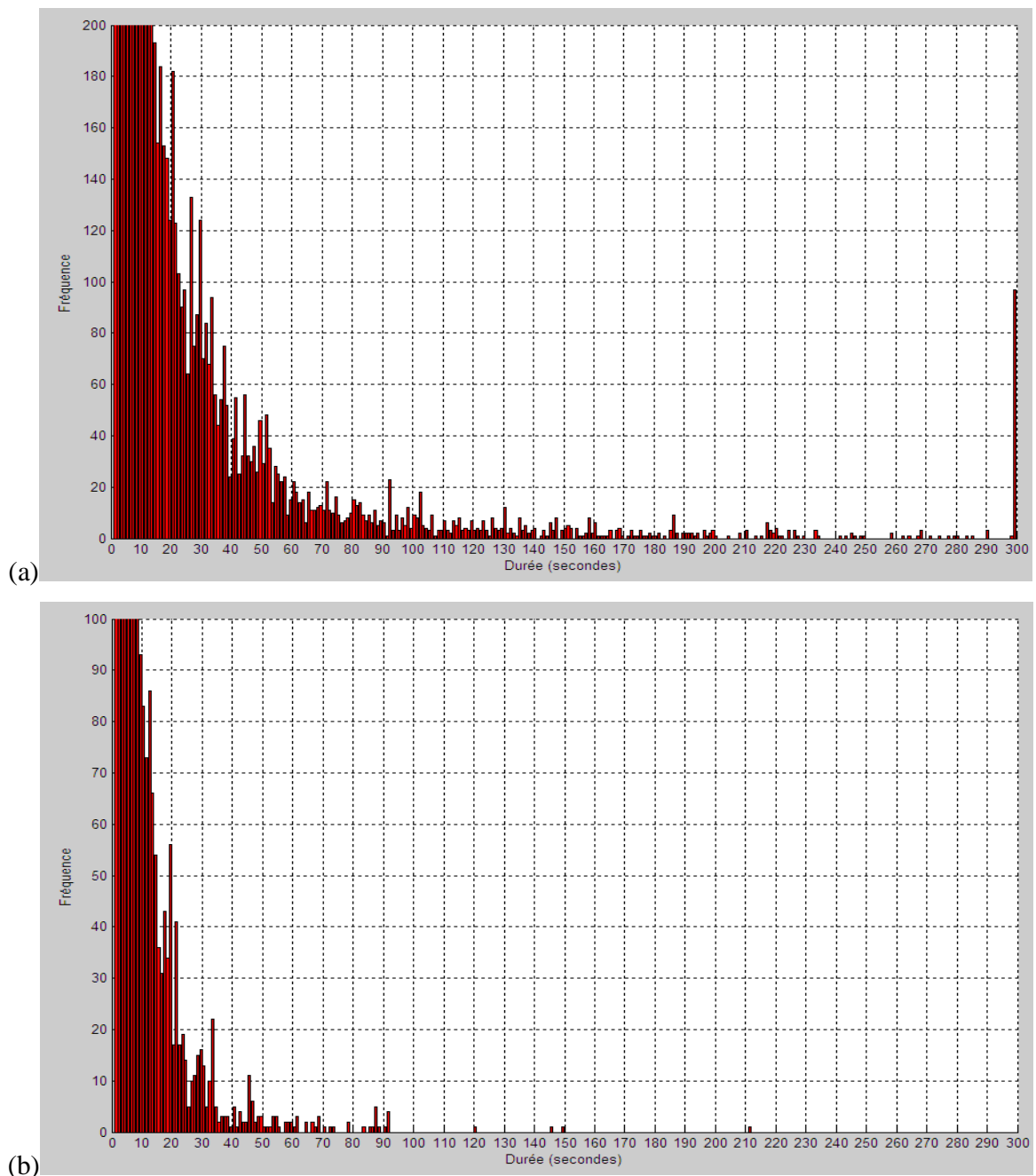


Figure 3-7 - Histogramme de la durée entre deux déclenchements consécutifs du capteur du salon (a), et du capteur des WC (b) (intervalle de 1 seconde)

En analysant ces histogrammes, on observe, sur la gauche, des durées correspondant aux états mobiles, et sur la droite, des durées correspondant aux états immobiles. La valeur de I que nous allons choisir correspond à une limite entre ces 2 zones. Nous supposons qu'il existe un point

d'inflexion entre ces 2 groupes, comme illustré sur la Figure 3-8, et nous choisissons d'utiliser la durée correspondant à ce point d'inflexion comme valeur de I.

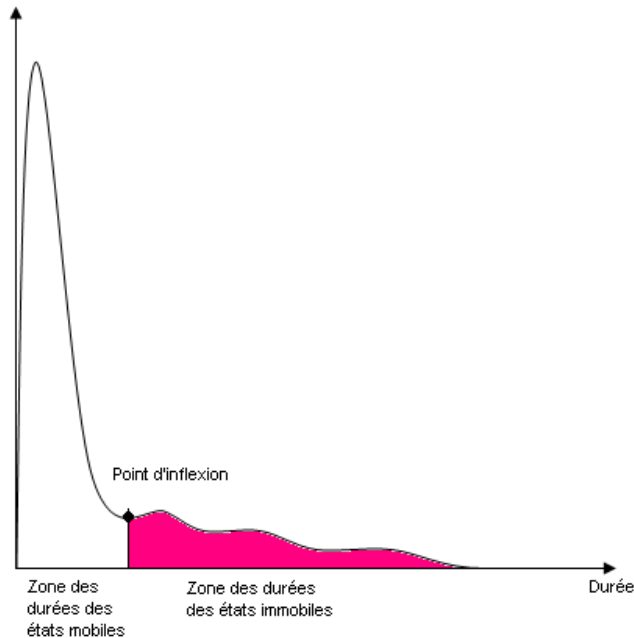


Figure 3-8 – Distribution supposée de la durée entre deux déclenchements consécutifs d'un capteur

Dans la Figure 3-6 (a), nous constatons qu'un point d'inflexion est proche de l'abscisse $Durée = 29s$. Nous choisissons d'utiliser la durée 29s comme valeur de I du capteur de l'entrée. Dans la Figure 3-6 (b), nous constatons qu'un point d'inflexion est proche de l'abscisse $Durée = 39s$. Nous choisissons d'utiliser la durée 39s comme valeur de I du capteur de la chambre.

Dans la Figure 3-7 (a), nous constatons qu'un point d'inflexion est proche de l'abscisse $Durée = 25s$. Nous choisissons d'utiliser la durée 25s comme valeur de I du capteur du salon. Dans la Figure 3-7 (b), nous constatons qu'un point d'inflexion est proche de l'abscisse $Durée = 25s$. Nous choisissons d'utiliser la durée 25s comme valeur de I du capteur des WC.

Pour le troisième groupe, nous proposons d'utiliser la méthode itérative décrite ci-dessus (dans le paragraphe 2) pour déterminer la valeur de I pour chaque jour, identique pour les 3 endroits, sans mettre de borne supérieure. On augmente la valeur de I pour qu'il n'y ait plus d'état immobile

déecté dans la cuisine, devant le lavabo, ni sous la douche (parce que des états immobiles dans ces 3 endroits ne correspondent pas aux AVQ de Katz qui nous intéressent).

Nous avons déterminé la valeur de I pour ces 3 endroits sur les 31 jours de données du mois de mai 2005 provenant du premier appartement de la plateforme AILISA (voir Figure 3-9).

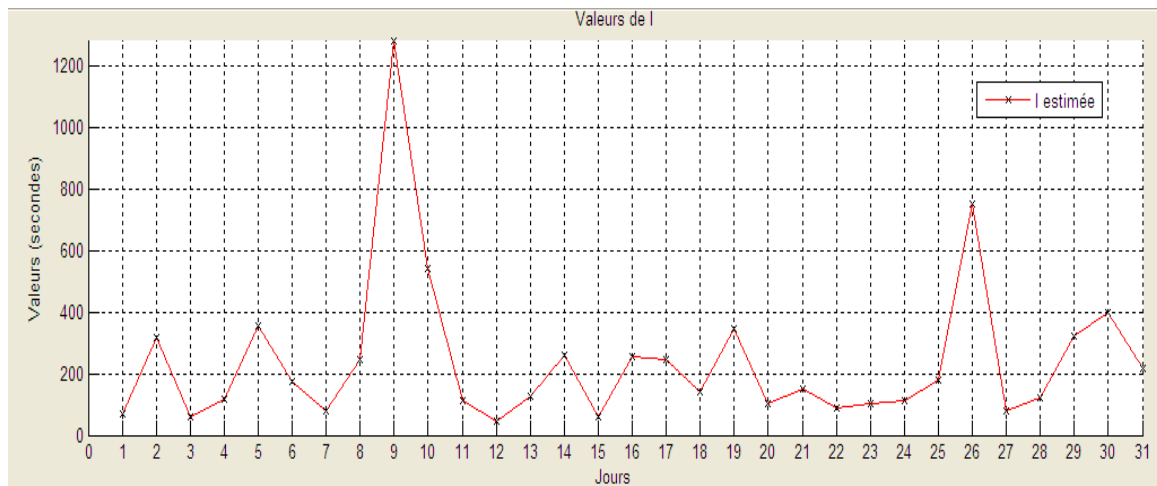


Figure 3-9 - Valeurs de I du troisième groupe déterminées pour les 31 jours

Pour déterminer la valeur de N, notre objectif est de trouver une valeur de N aussi grande que possible pour que la séquence d'états mobile - immobile obtenue soit la plus réduite possible. Pour estimer la valeur de N, nous observons l'histogramme du nombre de déclenchements entre deux états immobiles consécutifs du capteur pendant 31 jours dans chaque pièce, en utilisant la valeur de I de ce capteur déterminée précédemment, afin de déterminer les valeurs possibles de N (voir Figure 3-10).

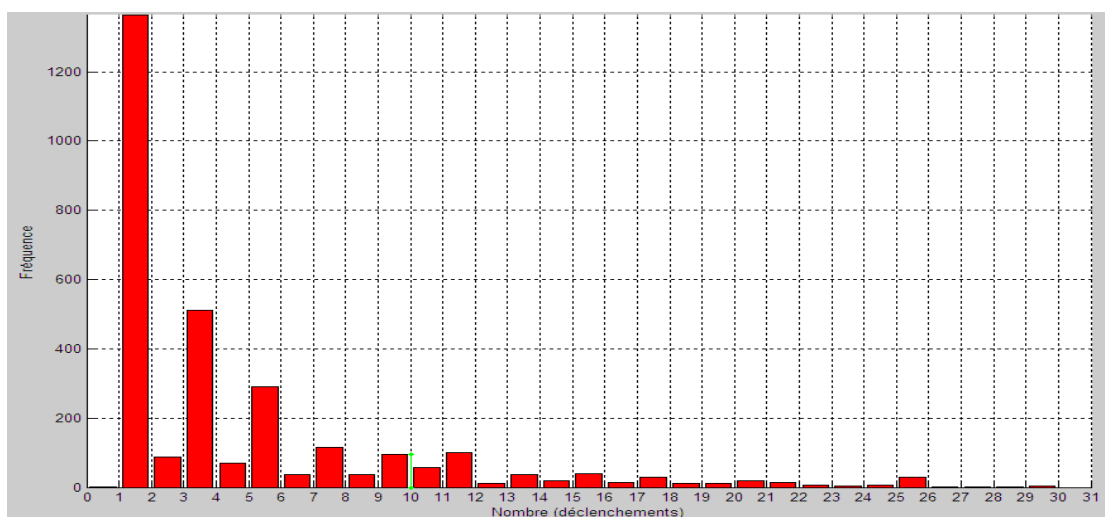


Figure 3-10 - Histogramme avec l'intervalle $I = 1$ du nombre de déclenchements entre deux états immobiles consécutifs du capteur de la chambre

Pour les capteurs du premier groupe (capteurs de l'entrée et de la chambre), seuls les états immobiles de longue durée (de quelques minutes à quelques heures) sont intéressants. Une grande valeur de N permet de combiner les états immobiles qui sont interrompus par des états mobiles non intéressants ; un état mobile de courte durée se produit quand l'occupant se retourne dans son lit par exemple. Pour les capteurs du deuxième groupe (capteurs du salon et des WC), une grande valeur de N peut faire disparaître des états mobiles de courte durée. Pour les capteurs du troisième groupe (capteurs de la cuisine, de la douche et du lavabo), il n'y a pas d'états immobiles dans les 3 endroits. On n'a alors pas besoin de N pour les combiner.

Pour chacun des 4 capteurs du premier et du deuxième groupe, en observant leur histogramme du nombre de déclenchements entre deux états immobiles consécutifs, on a les valeurs possibles de N . On fixe N expérimentalement. On teste les valeurs de N de la plus petite à la plus grande dans l'étape de traitement séquentiel et on observe les activités reconnues (voir Figure 3-4). On a 2 façons d'évaluer le choix de N :

- Si on a la liste des activités réalisées par l'occupant, on peut la confronter à la liste des activités reconnues et arrêter d'augmenter la valeur de N quand les 2 listes sont suffisamment proches ;
- sinon, on peut augmenter la valeur de N jusqu'au maximum observé sur l'histogramme et arrêter quand les activités reconnues sont suffisamment proches des activités

reconnues par l'observateur qui analyse la courbe de déclenchements des capteurs enregistrés. C'est une évaluation expérimentale.

Après avoir appliqué la méthode de choix de N sur 31 jours de données d'apprentissage, nous avons observé que la valeur $N = 10$ est satisfaisante pour les capteurs du premier groupe (entrée, chambre) et que la valeur $N = 5$ est satisfaisante pour les capteurs du deuxième groupe (salon, WC) dans ce cas d'étude (c'est-à-dire cette plateforme et cet occupant).

L'application des différentes approches développées sur les données dont nous disposons a montré que c'est celle utilisant des valeurs de I différentes pour chaque pièce (c'est-à-dire la troisième approche décrite dans le paragraphe 3) qui donne les meilleurs résultats. C'est donc cette approche que nous utilisons pour les résultats présentés dans le chapitre 4.

3.2.2 Méthode

La méthode de traitement séquentiel I&N comporte différentes étapes que nous allons expliciter ci-après. Nous illustrons les différentes étapes de cette méthode par des résultats obtenus en appliquant la méthode sur les données enregistrées lors d'un scénario supervisé sur la plateforme HIS. Ce scénario, reproduisant en environ 2 heures et demie les différentes AVQ réalisées dans une journée (voir Figure 4-19, annexe B), a été réalisé en janvier 2006.

La première étape de la méthode de traitement séquentiel est réalisée sur le fichier d'enregistrement des déclenchements des capteurs. Elle consiste, pour chaque déclenchement, à soustraire l'heure du déclenchement précédent de l'heure du déclenchement courant pour obtenir la durée entre deux déclenchements consécutifs en fonction de la durée écoulée depuis le début de l'enregistrement. La Figure 3-11 présente le résultat obtenu quand on applique la première étape sur le fichier du scénario.

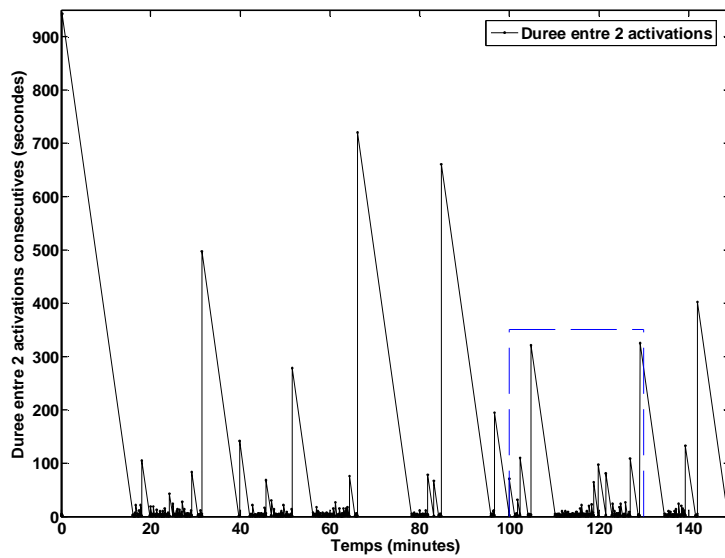


Figure 3-11 - Durée entre deux déclenchements consécutifs des capteurs

Pour une meilleure lisibilité, nous proposons de ne considérer que la période 100 min – 130 min pour les trois figures suivantes (Figure 3-12 à Figure 3-14).

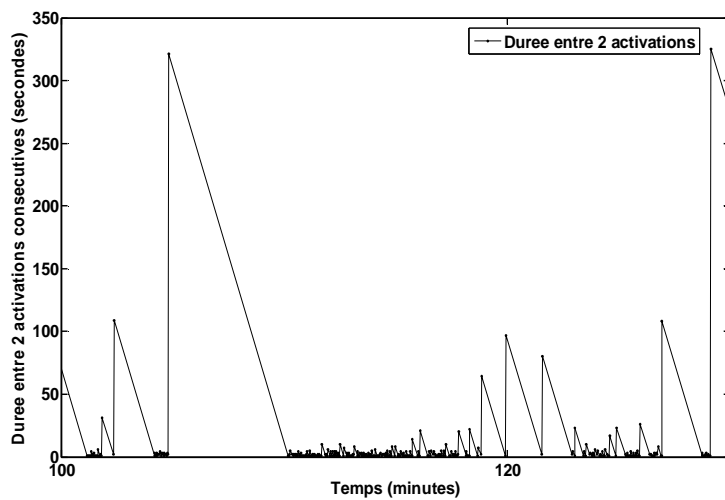


Figure 3-12 – Zoom de la Figure 3-11 sur la période 100min-130min

La seconde étape consiste à supprimer les durées inférieures à l'intervalle I (par exemple, $I = 10s$) pour garder uniquement les états immobiles (voir Figure 3-13).

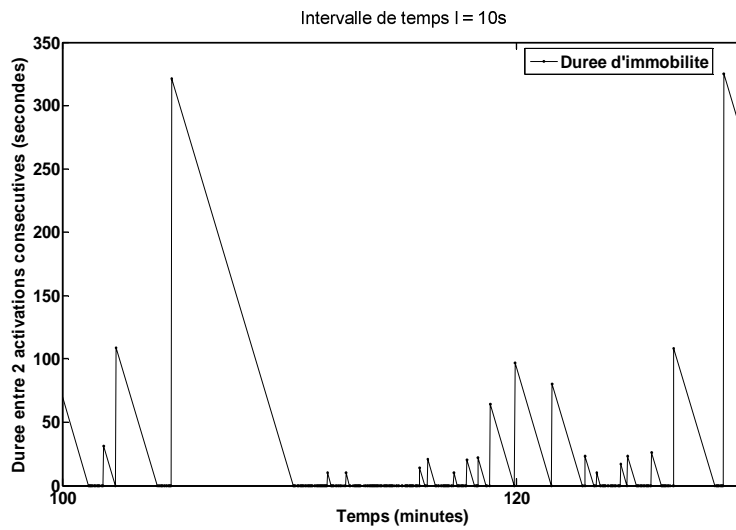


Figure 3-13 - Durée des états immobiles

Dans la troisième étape, on combine les états immobiles dans une même pièce qui sont séparés par moins de N (par exemple, $N = 5$) déclenchements de capteurs (voir Figure 3-14).

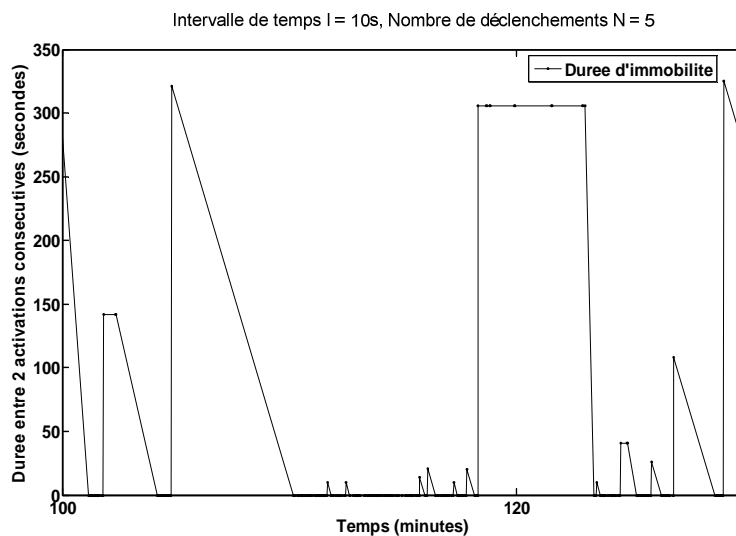


Figure 3-14 - Durée des états immobiles disjoints

La quatrième étape permet de définir les états mobiles. Chaque intervalle de temps qui n'a pas été associé à un état immobile correspond à un (ou des) état(s) mobile(s) auquel (auxquels) on associe un (ou plusieurs) endroit(s).

La cinquième et dernière étape du traitement séquentiel consiste à ordonner de manière chronologique l'ensemble des états mobiles et des états immobiles pour aboutir soit à des

séquences soit à des listes d'états mobile – immobile. La Figure 3-15 présente une partie de la séquence d'états et de la liste d'états mobile – immobile obtenues.

Séquence d'états	Liste des états
5m5i5m4m2m7m6m...3m3i3m7m7i7m2	Chambre-M pd. 3s de 15:27:21 à 15:27:24
m4m4i4m4i4m2m7m7i7m6m7m2m3m4	Chambre-I pd. 943s de 15:27:24 à 15:43:7
m5m5i5m5i5m...	Chambre-M pd. 7s de 15:43:7 à 15:43:14
numéro : pièces	Salon-M pd. 5s de 15:43:14 à 15:43:19
m / i : état mobile / immobile	Couloir-M pd. 3s de 15:43:19 à 15:43:22
	WC-M pd. 7s de 15:43:22 à 15:43:29
	Douche-M pd. 2s de 15:43:29 à 15:43:31
	...
	I : Etat immobile de l'occupant
	M : Etat mobile de l'occupant

Figure 3-15 - Extrait de la séquence d'états et de la liste d'états obtenues

En résumé, la méthode de traitement séquentiel peut être décrite par l'organigramme de la Figure 3-16 :

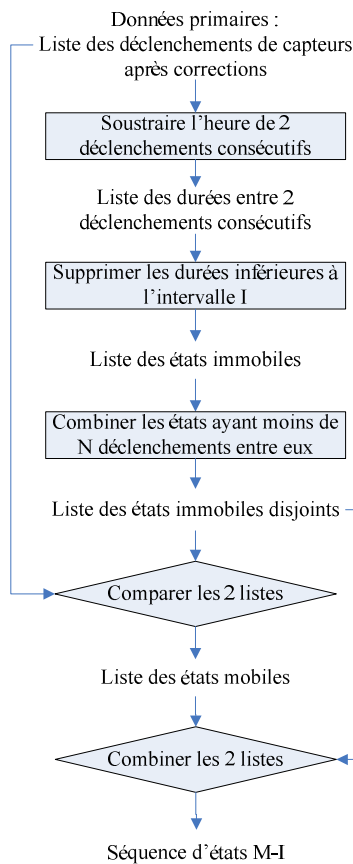


Figure 3-16 - Organigramme de la méthode de traitement séquentiel

Après l'étape de traitement séquentiel, les déclenchements des capteurs sont transformés en une séquence d'états mobile – immobile de l'occupant dans des pièces. Cette séquence d'états est exploitée dans le paragraphe suivant pour reconnaître les activités réalisées par l'occupant.

3.3 Etape de reconnaissance des activités

A partir de la séquence d'états mobile – immobile obtenue dans l'étape précédente, nous cherchons des méthodes pour reconnaître des activités réalisées par l'occupant. Nous présentons ci-après la méthode, qui utilise des séquences particulières et des règles pertinentes, afin de reconnaître sept activités réalisées par l'occupant dans une journée.

3.3.1 Principe

Dans le contexte d'observation d'une personne âgée vivant seule à domicile, et grâce à l'analyse des fichiers de capteurs enregistrés, nous avons une connaissance a priori : « les déplacements de l'occupant dans l'habitat sont liés aux activités qu'il veut réaliser ». Nous pouvons nous baser sur les déplacements pour reconnaître des activités réalisées par l'occupant dans la journée.

La reconnaissance d'activité que nous proposons repose sur le fait qu'on peut représenter les activités par une séquence d'états mobiles (M) et immobiles (I) et que chaque activité est associée à un endroit. Nous distinguons trois types d'activités qui sont :

- le type A, qui regroupe les activités 100% mobiles (toilette, habillage, cuisiner...)
- le type B, qui concerne les activités 100% immobiles (dormir...)
- le type C, qui contient des activités mixtes, mobiles et immobiles. Ce type C comporte deux groupes : le groupe C1 pour les activités plus mobiles qu'immobiles (manger, boire...) et le groupe C2 pour les activités plus immobiles que mobiles (aller aux toilettes, lecture, regarder la télé...)

Dans les cas idéaux, si on note M_a^b l'état mobile pendant la durée a dans la pièce b, et I_c^d l'état immobile pendant la durée c dans la pièce d, et $M_a^b - I_c^d$ la succession des états M_a^b et I_c^d , on a :

- une activité du type A est représentée par une séquence :

$$M_{\text{petite durée}}^{\text{pièce auxiliaire}} - M_{\text{grande durée}}^{\text{pièce principale}} - M_{\text{petite durée}}^{\text{pièce auxiliaire}}$$

- une activité du type B est représentée par une séquence :

$$M_{\text{petite durée}}^{\text{pièce auxiliaire}} - M_{\text{petite durée}}^{\text{pièce principale}} - I_{\text{grande durée}}^{\text{pièce principale}} - M_{\text{petite durée}}^{\text{pièce principale}} - M_{\text{petite durée}}^{\text{pièce auxiliaire}}$$

- une activité du type C1 est représentée par une séquence :

$$M_{\text{grande durée}}^{\text{pièce principale}} - I_{\text{petite durée}}^{\text{pièce principale}} - M_{\text{grande durée}}^{\text{pièce principale}} - I_{\text{petite durée}}^{\text{pièce principale}} - M_{\text{grande durée}}^{\text{pièce principale}}$$

- une activité du type C2 est représentée par une séquence :

$$M_{\text{petite durée}}^{\text{pièce principale}} - I_{\text{grande durée}}^{\text{pièce principale}} - M_{\text{petite durée}}^{\text{pièce principale}} - I_{\text{grande durée}}^{\text{pièce principale}} - M_{\text{petite durée}}^{\text{pièce principale}}$$

Nous nous basons sur les déplacements de l'occupant pour définir la séquence d'états pour chaque activité. Chaque activité est ainsi représentée par une séquence particulière. Ponctuellement, une activité peut ne pas être réalisée comme elle l'est habituellement. Sa réalisation peut, par exemple, être suspendue pour qu'une autre activité plus urgente soit réalisée. La séquence observée ne ressemble alors pas à la séquence particulière de l'activité. Par exemple : pendant le repas (activité principale), la personne peut aller aux toilettes (activité parasite), puis revenir poursuivre son repas ; ou pendant le sommeil (activité principale), la personne se réveille pour aller boire (activité parasite) puis retourne dormir. Dans ces cas, il devient difficile de déterminer la fin de l'activité principale. Nous devons donc ajouter des règles sur la durée moyenne de réalisation d'une activité pour éliminer les activités parasites.

La reconnaissance d'une activité réalisée par l'occupant dans la journée est effectuée par la recherche des occurrences de la séquence particulière de cette activité dans la séquence globale (séquence d'états mobile – immobile de la journée).

3.3.2 Méthode

La méthode de reconnaissance d'activités par les séquences particulières et les règles pertinentes peut être décrite par l'organigramme de la Figure 3-17.

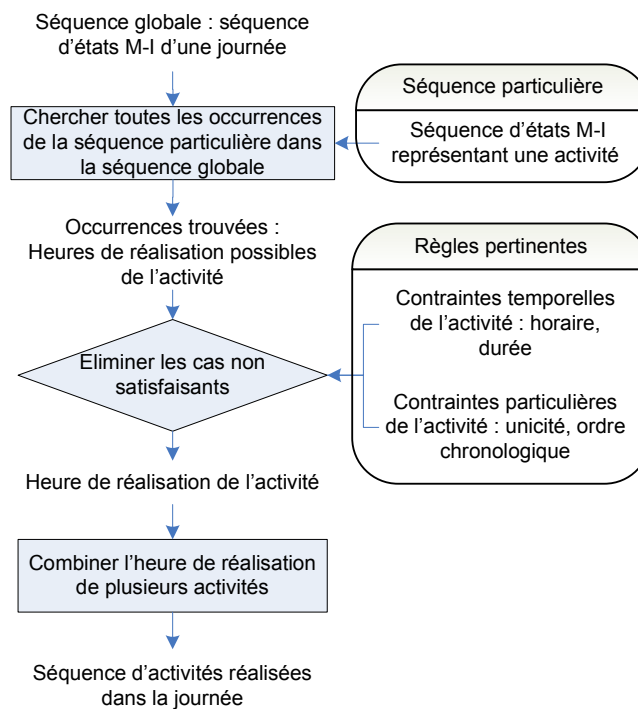


Figure 3-17 - Organigramme de la méthode de reconnaissance d'activités par les séquences particulières et les règles pertinentes

Pour reconnaître une activité, nous recherchons les occurrences de la séquence particulière de cette activité dans la séquence globale. La Figure 3-18 illustre la recherche des occurrences de la séquence particulière d'une activité dans la séquence globale.

...2m2i2m0m3m7m0m2m2i2m1m5m0m3m3i3m7m...
 lever = '2i2m0m', '2i2m1m'.

Figure 3-18 – Recherche des occurrences de la séquence d'états correspondant à l'activité 'lever'

Les occurrences trouvées correspondent aux heures de réalisation potentielles de cette activité.

Certaines activités peuvent être réalisées plusieurs fois dans une journée. Par exemple, l'activité 'manger' peut contenir : petit-déjeuner, déjeuner, dîner ou goûter. Nous utilisons les réponses au questionnaire sur les habitudes de vie pour déterminer les contraintes temporelles d'une activité (horaire, durée) qui nous permettent de classer les cas différents d'une activité.

Certaines activités peuvent être réalisées une seule fois dans la journée (telles que : le lever et le coucher). Nous utilisons cette caractéristique en la combinant avec ses contraintes temporelles

pour enlever des occurrences non satisfaisantes et garder une seule occurrence, la plus convenable.

Une activité peut toujours être réalisée après ou avant une autre activité (telle que l'habillage suivant la toilette). Nous utilisons cet ordre chronologique pour déterminer l'heure de réalisation de l'activité.

En général, la séquence particulière d'une activité est construite à partir des déplacements dans l'habitat de l'occupant et de l'endroit habituel de cette activité, obtenu grâce au questionnaire. Plusieurs activités peuvent avoir les mêmes déplacements et les mêmes endroits habituels, et alors les mêmes séquences particulières. Les contraintes temporelles (horaire, durée) et les contraintes particulières (unicité, ordre chronologique) sont nécessaires pour enlever les activités non intéressantes. Les contraintes temporelles sont construites à partir de l'horaire habituel et de la durée habituelle des activités quotidiennes, obtenus grâce au questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant.

Les contraintes temporelles et les contraintes particulières d'une activité forment la règle pertinente de cette activité. L'ensemble des 2 éléments : séquence d'états mobile – immobile particulière et règle pertinente, constitue la méthode pour reconnaître chaque activité.

Dans le cadre de notre thèse, nous nous intéressons à la reconnaissance de 7 activités d'une personne âgée (4 AVQ définies par Katz : toilette, habillage, aller aux toilettes, alimentation et 3 activités supplémentaires : le lever, le coucher et les sorties – rappelons qu'une cinquième AVQ, le transfert, est implicitement reconnue si on reconnaît le lever et le coucher) qui nous aident à suivre l'évolution du rythme de vie et à évaluer l'état d'autonomie de la personne âgée. Nous détaillons ci-après les séquences particulières et les règles pertinentes pour reconnaître ces 7 activités.

Le lever est une activité qui se produit une seule fois dans la journée. Il est caractérisé par le scénario : une longue période immobile dans la chambre, puis mobile dans la chambre, et puis mobile dans une autre pièce. Le lever peut alors se traduire par les chaînes de caractères '2i2m0m', '2i2m1m' ou '2i2m5m' (les chiffres représentent les numéros de capteurs, présentés au chapitre 2, les lettres représentent l'état de l'occupant, mobile ou immobile ; 2i2m0m signifie alors chambre-immobile, chambre-mobile, entrée-mobile ; 2i2m1m signifie chambre-immobile,

chambre-mobile, salon-mobile ; 2i2m5m signifie chambre-immobile, chambre-mobile, cuisine-mobile).

Afin de déterminer l'heure de lever, on localise ces chaînes de caractères dans la séquence d'états de la journée étudiée. Pour les contraintes temporelles, on considère que le lever se produit avant midi et que la durée du sommeil avant le lever est supérieure à 10 minutes. Ces contraintes ne dépendent pas de l'occupant. On enlève les occurrences non satisfaisantes et on garde une seule occurrence.

On considère le scénario : l'occupant se réveille à 4h du matin pour aller aux toilettes et puis retourne dormir à 4h10, après il se lève à 7h. Si on recherche la séquence d'états de lever dans la séquence globale on peut trouver 2 occurrences. La première correspond au réveil et la deuxième correspond au lever. Nous considérons la deuxième occurrence comme le 'vrai' lever. Pour enlever la première occurrence correspondant au réveil, on considère que, si l'occupant retourne dormir moins de 30 minutes après s'être levé, son activité ne correspondait pas à un vrai lever. En d'autres termes, on ne considère donc pas l'occurrence d'une séquence correspondant au lever si on trouve à nouveau l'état 2i moins de 30 minutes après ce lever. La Figure 3-19 présente la chaîne de caractères de ce scénario.

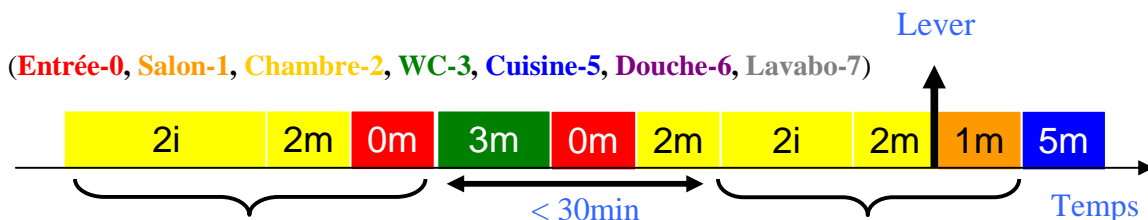


Figure 3-19 – Reconnaissance de l'activité « lever »

Le coucher est aussi une activité qui se produit une seule fois dans la journée. Il est caractérisé par le scénario : mobile dans la chambre suivi par une longue période immobile dans la chambre. Le coucher peut alors se traduire par la chaîne de caractères '2m2i'.

Afin de déterminer l'heure de coucher, on localise cette chaîne de caractères dans la séquence d'états de la journée étudiée. Autrement dit, on cherche l'instant où l'occupant entre et est immobile dans la chambre, ce qui correspond à un coucher ou au début d'un sommeil. Pour les contraintes temporelles, on considère que le coucher se produit après 19 heures et que la durée du

sommeil dans ce coucher est supérieure à 10 minutes pour enlever les occurrences correspondant à l'activité de « lecture au lit ». Ces contraintes sont générales et ne dépendent pas de l'occupant. On enlève les occurrences non satisfaisantes pour ne garder qu'une seule occurrence.

On considère le scénario : l'occupant va au lit à 20h ; il se réveille à 22h pour aller boire, puis retourne dormir à 22h05 ; il se réveille à 23h pour aller aux toilettes et retourne dormir à 23h15. Si on recherche la séquence d'états de coucher dans la séquence globale on peut trouver 3 occurrences. Nous considérons la première occurrence comme le 'vrai' coucher. Pour garder la première occurrence correspondant au 'vrai' coucher, on considère qu'après le 'vrai' coucher, si l'occupant se réveille pour faire une certaine activité, il va retourner dormir dans moins de 30 minutes et on garde le coucher le plus tôt. La Figure 3-20 présente la chaîne de caractères de ce scénario. Si l'occupant se lève plus de 30 minutes au milieu de la nuit (par exemple pour aller grignoter), nous considérons que c'est une activité importante et que le coucher après cette activité est le 'vrai' coucher.

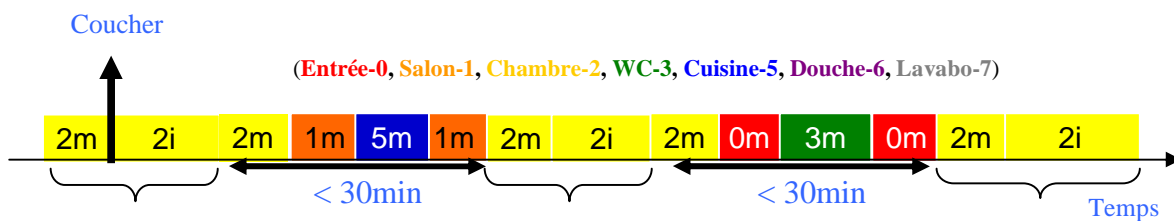


Figure 3-20 - Reconnaissance de l'activité « coucher »

Pour l'activité « alimentation » ou simplement « manger », son début est caractérisé par le scénario : mobile dans la cuisine, puis mobile dans le salon, puis immobile dans le salon ; sa fin est caractérisée par le scénario : immobile dans le salon, puis mobile dans le salon, et enfin mobile dans la cuisine. Ces scénarii se traduisent respectivement par les chaînes de caractères '5m1m1i' et par '1i1m5m'.

Afin de déterminer l'heure des repas, on localise les 2 chaînes de caractères dans la séquence d'états globale. Les contraintes temporelles dépendent du type de repas dans la journée et de l'habitude de l'occupant. Pour le petit-déjeuner, on considère que l'heure du repas varie entre 6h30 et 9h30. Pour le déjeuner, l'heure du repas varie entre 11h30 et 14h30. Pour le dîner, l'heure du repas varie entre 17h30 et 20h30. Dans les trois cas, on considère que la durée de l'état immobile dans le salon '1i' est supérieure à 1 minute. Ces contraintes sont générales et ne

dépendent pas de l'occupant. On enlève les occurrences non satisfaisantes et on garde une seule occurrence. S'il reste encore plusieurs occurrences satisfaisantes pour un repas, on considère que l'occurrence la plus proche de l'heure habituelle du repas, obtenue grâce au questionnaire, est l'heure du repas.

On considère le scénario : pendant le petit-déjeuner, l'occupant doit aller aux toilettes, puis revient poursuivre son repas. Dans ce cas, la durée entre le début et la fin du repas comprend la durée du repas et la durée d'aller aux toilettes et peut être supérieure à la durée moyenne indiquée dans le questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant. On soustrait la durée des états mobiles à l'entrée et dans les WC de la durée entre le début et la fin du repas pour obtenir la durée exacte du repas. La Figure 3-21 présente la chaîne de caractères de ce scénario.

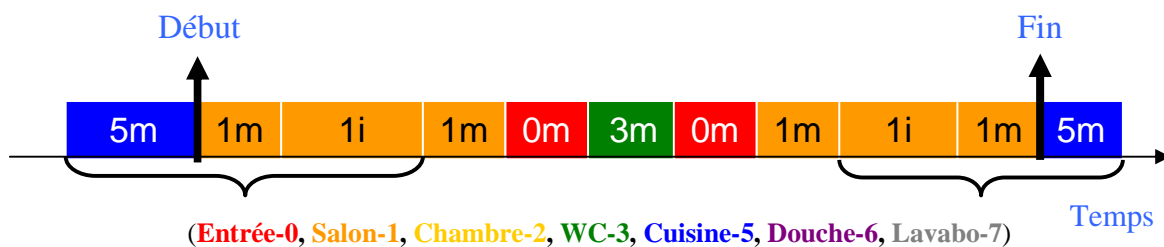


Figure 3-21 - Reconnaissance de l'activité « manger »

La sortie est une activité qui se produit une ou plusieurs fois dans la journée. Elle est caractérisée par le scénario : mobile à l'entrée, suivi par une longue période immobile à l'entrée, puis mobile à l'entrée. Elle peut alors se traduire par la chaîne de caractères '0m0i0m' (voir Figure 3-22).

Afin de déterminer l'heure de sortie, on localise cette chaîne de caractères dans la séquence d'états de la journée étudiée. Pour les contraintes temporelles, la sortie est une activité spontanée et n'a aucune contrainte horaire, ni d'ordre chronologique avec les autres activités. Nous nous intéressons aux sorties de longue durée qui correspondent à l'activité sociale de l'occupant (telle que : faire des courses, faire des visites). Pour enlever les sorties de courte durée (telle que : sortir la poubelle), nous ne considérons que les cas pour lesquels la durée de l'état immobile à l'entrée '0i' est supérieure à 30 minutes.

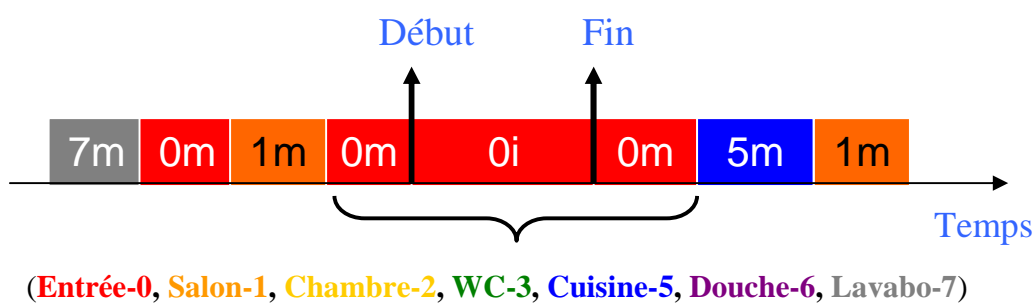


Figure 3-22 - Reconnaissance de l'activité « sortie »

L'activité « aller aux toilettes », ou l'élimination, est une activité qui se produit une ou plusieurs fois dans la journée. Elle est caractérisée par les scénarii : mobile à l'entrée, suivi par une longue période mobile aux WC, puis mobile à l'entrée ; ou mobile à l'entrée, puis mobile aux WC, puis une longue période immobile aux WC, puis mobile aux WC et enfin mobile à l'entrée. Elle peut alors se traduire par les chaînes de caractères '0m3m0m' ou '0m3m3i3m0m' (voir Figure 3-23). Dans le cas où l'occupant peut faire d'autres activités, dans la salle de bain, après l'« aller aux toilettes » (prise d'une douche, lavage des mains...), l'« aller aux toilettes » peut se traduire par les chaînes de caractères : '0m3m6m' ou '0m3m3i3m6m' (prise d'une douche après l'« aller aux toilettes »); '0m3m7m' ou '0m3m3i3m7m' (lavage des mains après l'« aller aux toilettes »).

Afin de déterminer l'heure d'« aller aux toilettes », on localise ces chaînes de caractères dans la séquence d'états de la journée étudiée. Pour les contraintes temporelles, l'« aller aux toilettes » est une activité spontanée et n'a aucune contrainte horaire. Nous estimons que la durée de l'« aller aux toilettes » est supérieure à 30s. On enlève les occurrences ayant la durée des états mobile-immobile dans les WC inférieure à 30s.



Figure 3-23 - Reconnaissance de l'activité « aller aux toilettes »

Dans la configuration de la plateforme AILISA, l'activité « faire la toilette » correspond à l'activité « prendre une douche ». C'est une activité qui se produit en général une seule fois dans la journée. Elle est caractérisée par le scénario : mobile à l'entrée, suivi par une longue période

mobile sous la douche et puis mobile à l'entrée. L'activité « prendre une douche » peut alors se traduire par la chaîne de caractères '0m6m0m' (voir Figure 3-24). Dans le cas où l'occupant peut faire d'autres activités, dans la salle de bain, avant ou après la prise d'une douche (aller aux toilettes, s'habiller, se coiffer...), l'activité « prendre une douche » peut se traduire par les chaînes de caractères : '3m6m0m' (aller aux toilettes avant la prise d'une douche) ; '0m6m7m' (s'habiller, se coiffer devant le lavabo après la prise d'une douche).

Afin de déterminer l'heure de l'activité « prendre une douche », on localise ces chaînes de caractères dans la séquence d'états de la journée étudiée. Pour les contraintes temporelles, on considère que la durée de l'activité « prendre une douche » est supérieure à 30 secondes, correspondant à un état mobile sous la douche '6m' de durée supérieure à 30 secondes. On enlève les occurrences non satisfaisantes.

Dans certains cas, pour différentes raisons (telles que le froid ou les habitudes de vie), la personne âgée peut faire sa toilette devant le lavabo au lieu de prendre une douche. L'activité « faire la toilette » est alors caractérisée par le scénario : mobile à l'entrée, suivi par une longue période mobile devant le lavabo et puis mobile à l'entrée. Elle peut alors se traduire par la chaîne de caractères '0m7m0m' (voir Figure 3-24). Dans ce cas, afin de déterminer l'heure de l'activité « faire la toilette », on localise cette chaîne de caractères '0m7m0m' dans la séquence d'états globale. Pour les contraintes temporelles, nous estimons que la durée de l'activité « faire la toilette » est supérieure à 30 secondes. Mais, l'occupant peut faire d'autres activités devant le lavabo (telles que : se brosser des dents ou s'habiller) qui ont les mêmes séquences particulières que l'activité « faire la toilette ». Alors, pour enlever les occurrences des autres activités dans l'ensemble des occurrences trouvées, nous devons utiliser une autre contrainte temporelle : l'horaire habituel de la toilette, issu de la réponse au questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant. Par exemple, l'occupant fait sa toilette habituellement entre 8h et 9h. Nous gardons l'occurrence la plus proche de l'horaire habituel de la toilette, et la considérons comme l'heure de l'activité « faire la toilette ». Si l'activité se produit hors de son horaire habituel ou si l'occupant change ses habitudes de vie, le résultat de la reconnaissance obtenu ne sera plus exact.

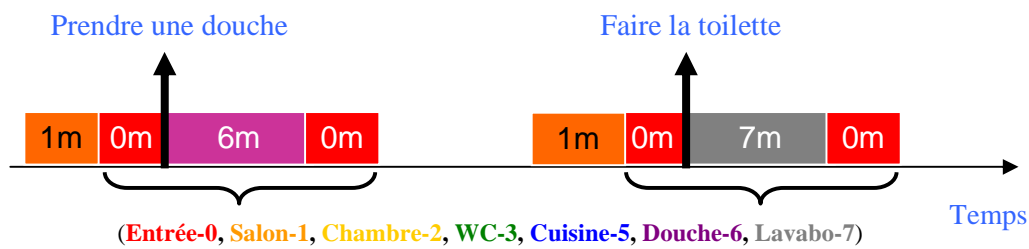


Figure 3-24 - Reconnaissance de l'activité « faire la toilette »

L'habillage est une activité qui se produit une ou plusieurs fois dans la journée. Il est caractérisé par l'endroit habituel indiqué par l'occupant dans le questionnaire sur les habitudes de vie. Par exemple, si l'occupant s'habille devant le lavabo, l'activité « habillage » est caractérisée par le scénario : mobile à l'entrée, puis une longue période mobile devant le lavabo, et puis mobile à l'entrée. Il peut alors se traduire par la chaîne de caractères '0m7m0m' (voir Figure 3-25). L'habillage se passe souvent après la toilette (prendre une douche), avant et après la sortie. Cette information nous est souvent fournie dans le questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant. Nous estimons que la durée de l'activité « habillage » est supérieure à 30s. Nous gardons l'occurrence satisfaisante la plus proche avant ou après l'heure de sortie ou la plus proche après l'heure de l'activité « faire la toilette ».

Il y a des cas où l'occupant s'habille dans un endroit où il fait aussi d'autres activités, comme par exemple le salon (l'armoire à linge est installée dans le salon). Dans ce cas, l'activité n'a pas de séquence d'états mobile – immobile particulière et on aurait besoin de davantage d'informations. On pourrait alors installer un contact magnétique sur la porte de l'armoire à linge pour obtenir des informations sur l'activité. Grâce à l'information sur l'ouverture de l'armoire à linge, on peut différencier l'habillage des autres activités qui se passent au salon telles que : lecture, faire le ménage, etc.

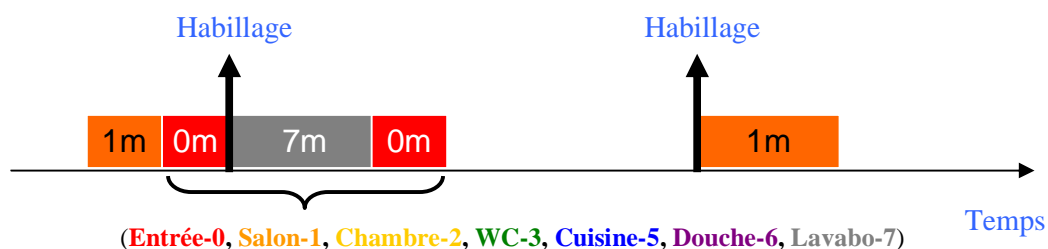


Figure 3-25 - Reconnaissance de l'activité « habillage »

La Figure 3-26 présente le résultat de l'application des règles de reconnaissance sur les 31 jours de données du mois de mai 2005 (mois de données d'apprentissage) concernant l'occupant vivant dans le premier appartement de la plateforme AILISA.

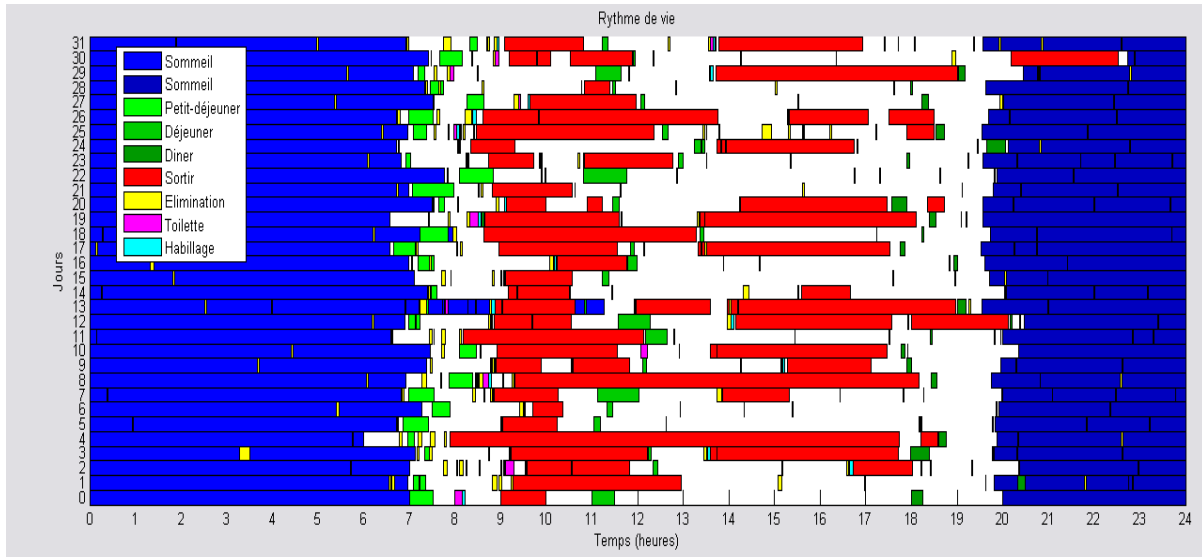


Figure 3-26 – Rythme de vie de l'occupant pendant 31 jours

Pour une activité qui peut être caractérisée par un déplacement particulier dans les pièces ou par un endroit particulier (telles que : aller aux toilettes, prendre une douche, lever, coucher, sortir, etc.), cette activité a une séquence d'états mobile - immobile particulière et la règle pertinente est suffisante pour la reconnaître.

Pour une activité qui se produit dans un même endroit que les autres activités (telles que : faire la toilette, brosser les dents, s'habiller devant le lavabo ; boire, cuisiner, faire la vaisselle dans la cuisine ; s'habiller, lire, faire le ménage dans le salon, etc.), cette activité n'a pas une séquence d'états mobile - immobile particulière et la règle pertinente doit se baser sur l'horaire habituel de cette activité, obtenu grâce au questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant. Si l'activité se produit hors de son horaire habituel, la règle pertinente peut être insuffisante pour la reconnaître. Dans ce cas, on peut essayer d'autres méthodes de reconnaissance telle que le modèle de Markov caché, que nous avons appliqué à la reconnaissance des repas ; notre étude est présentée dans l'annexe B. Actuellement, le système de capteurs ne fournit que des informations sur l'horaire et l'endroit de l'activité. On peut installer des contacts magnétiques sur la porte du réfrigérateur, de l'armoire à linge ou de l'armoire à vaisselle pour obtenir plus d'informations sur l'objet utilisé

pendant l'activité. Ces informations pourraient nous aider à différencier plusieurs activités de la vie quotidienne, sans perturber la vie de l'occupant.

3.4 Etape d'évaluation de l'évolution du rythme de vie

A notre connaissance, il n'existe pas beaucoup d'études dans la littérature qui arrivent à reconnaître les AVQ réalisées par une personne âgée dans une journée. Nous n'avons trouvé aucune étude portant sur l'évaluation automatique de l'état d'autonomie de la personne âgée à partir de sa séquence d'activités réalisées dans une journée. Dans l'objectif de suivre l'évolution du rythme de vie de l'occupant pour évaluer son niveau d'autonomie et signaler la détection d'une perte d'autonomie, nous introduisons maintenant quelques pistes de réflexions, qui peuvent certainement être améliorées, permettant d'illustrer l'usage que l'on peut faire des résultats fournis par l'étape présentée ci-dessus (séquence d'activités réalisées dans une journée de l'occupant). Nous proposons deux approches :

- Une observation de la tendance : c'est-à-dire une recherche des tendances d'évolution de quelques activités particulières représentatives de l'autonomie de la personne (telles que le lever, le coucher ou les sorties) et un signalement de toute tendance anormale qui apparaît sur une longue période ;
- Une évaluation par notation : c'est-à-dire une comparaison de la séquence d'activités réalisées dans la journée avec la séquence d'activités habituelles, issue du questionnaire, ou construite grâce aux données relevées sur quelques mois précédents. La ressemblance, entre ces deux séquences, est estimée par un score. La variation de ce score, jour après jour, représente l'évolution du rythme de vie de l'occupant. Une grande diminution de ce score sur une longue période peut être un signal de la dégradation de l'état d'autonomie de l'occupant.

3.4.1 Observation de la tendance

Les études comportant de longues périodes d'observation de la vie réelle des personnes âgées montrent que les personnes âgées ont des habitudes de vie ou des rythmes de vie assez réguliers [Ohta et al., 2002]. Les changements dans leurs habitudes de vie peuvent donc signaler un problème ou une dégradation de leur état de santé. Nous proposons alors d'observer la tendance

d'évolution de 3 activités : lever, coucher et sortir qui, à notre avis, sont représentatives de la perte d'autonomie.

Le lever et le coucher sont des activités qui se produisent une seule fois dans la journée. Ce sont des activités assez régulières. L'observation de l'heure de lever et de l'heure de coucher de l'occupant sur une longue période est une bonne façon pour suivre l'évolution du rythme de vie de l'occupant. La méthode développée dans le chapitre 3 nous permet d'enregistrer chaque jour l'horaire de ces activités. En appliquant des méthodes d'extraction de tendance (voir par exemple [Avent et Charlton, 1990]), on peut détecter si l'occupant a tendance à se lever (ou se coucher) de plus en plus tôt ou de plus en plus tard. Cette tendance peut être un indicateur de l'évolution de l'état d'autonomie de l'occupant.

La Figure 3-27 présente l'heure de lever sur les 31 jours de données du mois de mai 2005 concernant l'occupant vivant dans le premier appartement de la plateforme AILISA.

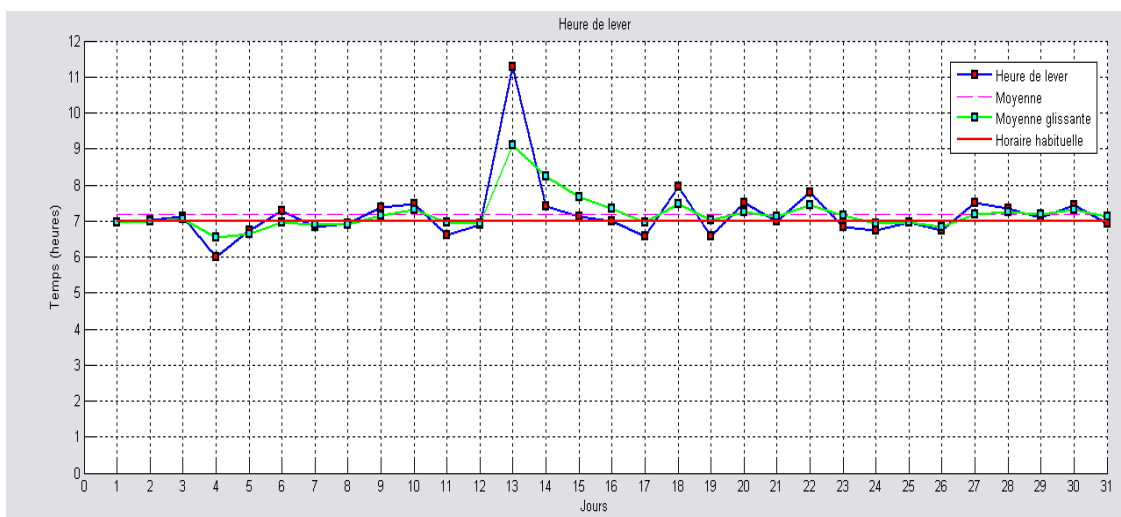


Figure 3-27 - Déviation de l'heure de lever pendant 31 jours

A part une fausse reconnaissance de l'heure de lever du jour 13, nous observons que l'heure de lever de l'occupant ne varie pas beaucoup autour de l'heure habituelle. L'heure de lever habituelle déclarée par l'occupant est très proche de la moyenne des heures de lever.

La Figure 3-28 présente l'heure de coucher de l'occupant sur ces 31 jours de données.

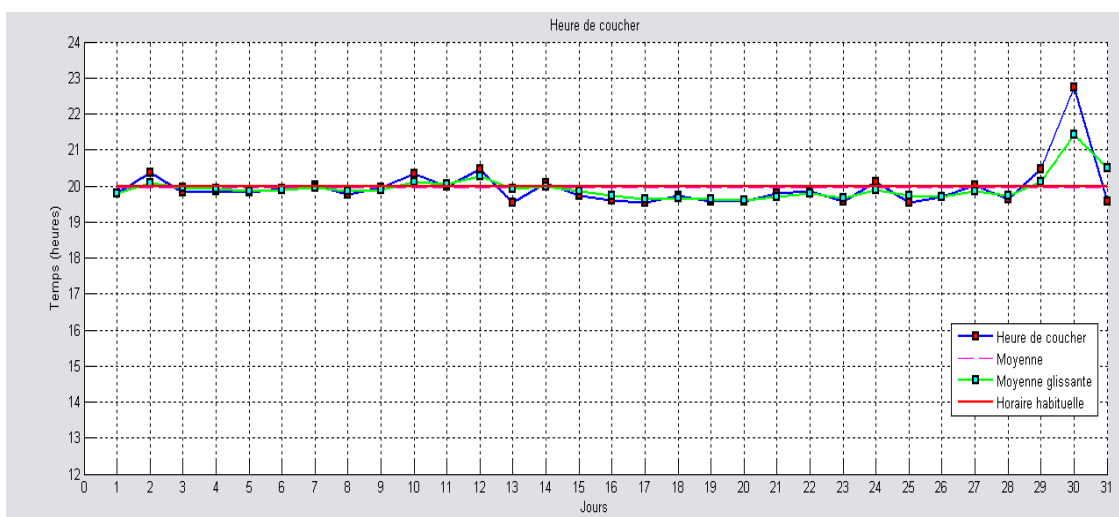


Figure 3-28 - Déviation de l'heure de coucher pendant 31 jours

A part l'heure de coucher du jour 30, nous observons que l'heure de coucher de l'occupant varie peu autour de l'heure habituelle. L'heure de coucher habituelle déclarée par l'occupant est identique à la moyenne des heures de coucher.

La sortie est une activité particulière qui est inhérente aux activités sociales de l'occupant (telles que : faire des courses, rendre visite à ses proches). Si l'occupant ne sort plus pendant une longue période (quelques semaines par exemple), il a peut-être un problème de motricité qui peut s'apparenter à une perte d'autonomie.

La durée de sortie varie de manière inversement proportionnelle au nombre de déclenchements des capteurs dans une journée. Les jours où l'occupant ne sort pas, le nombre de déclenchements des capteurs est en général plus grand que celui des jours où l'occupant sort beaucoup. Si ce n'est pas le cas (par exemple, pas de sortie et peu de déclenchements de capteurs), on peut considérer ce jour comme un jour inhabituel où l'occupant peut avoir un problème de santé.

La corrélation entre le nombre de sorties, la durée des sorties, le nombre de déclenchements des capteurs pour chaque jour ainsi que leur déviation par rapport aux jours précédents, peuvent être une indication sur l'évolution du rythme de vie de l'occupant. La Figure 3-29 présente le nombre de sorties, la durée des sorties et le nombre de déclenchements des capteurs sur ces 31 jours de données.

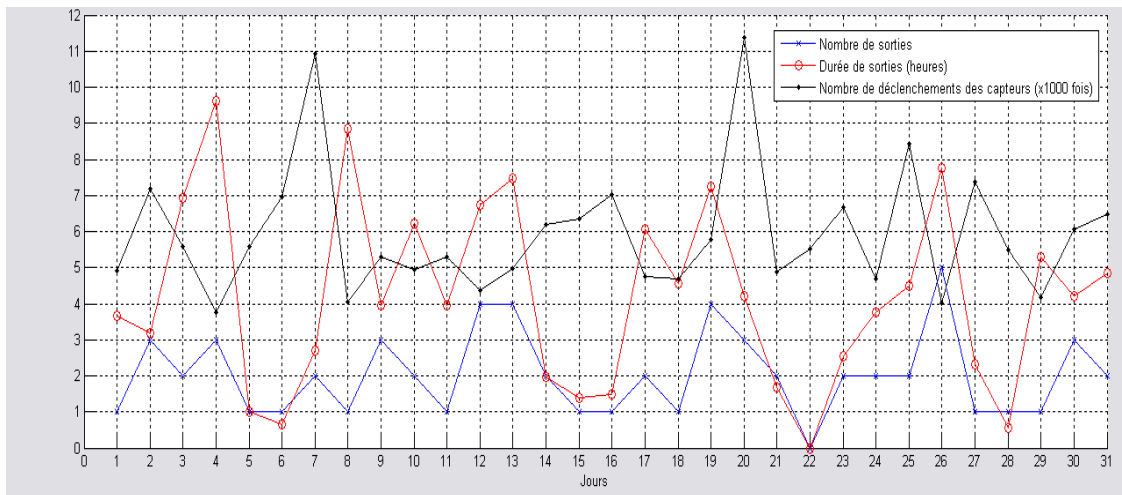


Figure 3-29 - Corrélation entre le nombre de sorties, la durée des sorties et le nombre de déclenchements des capteurs pendant 31 jours à l'AILISA

Toutes ces courbes présentent des résultats d'observations pendant des périodes où l'occupant est autonome. Pour aller plus loin dans la compréhension du lien entre l'évolution de ces activités et l'état d'autonomie de l'occupant, il serait utile de disposer de données correspondant à une dégradation de l'autonomie de l'occupant. Ces données peuvent éventuellement provenir de simulations.

3.4.2 Evaluation par notation

3.4.2.1 Principe

Nous considérons que la régularité des AVQ réalisées dans une journée est représentative de l'état d'autonomie de la personne âgée. La comparaison de la réalisation des AVQ jour après jour peut nous permettre de suivre et évaluer l'autonomie de la personne âgée. Nous nous inspirons des travaux de Suzuki et al. [Suzuki et al., 2006]. Ces auteurs utilisent les données de capteurs enregistrées par leur système de surveillance, et le journal d'activités tenu par une personne âgée surveillée pendant 12 jours de référence, pour identifier le rythme de vie de la personne. Le rythme de vie obtenu comprend les périodes suivantes : sommeil (0h-5h), lever/petit-déjeuner (5h-9h), activités dans la maison/sortie (9h-17h), dîner/coucher (17h-23h) et sommeil (23h-24h). Ils calculent le nombre moyen de déclenchements des capteurs dans chaque période du rythme de vie pour les jours de référence. Pour le jour étudié, ils comparent le nombre de déclenchements des capteurs avec les moyennes calculées précédemment sur les jours de référence. Ils

considèrent un jour comme atypique si l'écart entre le nombre de déclenchements de ce jour et le nombre de déclenchements moyen sur les jours de référence dépasse un seuil défini.

Pour notre étude, le rythme de vie est représenté par une séquence d'activités type, ou une séquence d'activités habituelles, pour chaque occupant à surveiller. Cette séquence d'activités type est une séquence chronologique des activités que l'occupant réalise habituellement dans une journée. Elle est construite à partir du questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant, ou, à défaut, construite grâce aux données relevées sur quelques mois précédents qui constituent notre période de référence.

Sur les 31 jours de données du mois de mai 2005 (mois de données d'apprentissage) du premier appartement de la plateforme AILISA, nous constatons que la durée de sortie de l'occupant est assez longue et varie beaucoup d'un jour à l'autre. Quand l'occupant sort, les AVQ réalisées habituellement dans cet horaire ne sont pas réalisées dans l'habitat. Par exemple, l'occupant sort et prend le déjeuner à l'extérieur. Dans ce cas, une évaluation « simple » qui considérerait l'absence de la réalisation d'une AVQ comme une perte d'autonomie peut provoquer de faux signalements. Nous cherchons donc à évaluer la réalisation de l'ensemble des activités dans la journée et à l'estimer par un score. Nous observons ce score jour après jour. Si le score baisse en dessous d'un seuil limite et y reste sur une longue période, le système va le signaler. Ce seuil et cette période devront être déterminés avec l'aide d'experts.

L'évaluation de l'autonomie par la notation de la réalisation de l'ensemble des activités, compare la séquence d'activités réalisées reconnues dans une journée avec la séquence d'activités habituelles de l'occupant. L'idée de base du système de notation est d'estimer la ressemblance entre les deux séquences par un score. Nous estimons qu'il y a trois critères à prendre en compte pour les activités : l'horaire, la durée et l'ordre chronologique des activités dans la séquence. La Figure 3-30 illustre la comparaison 'activité par activité' de la séquence d'activités de la journée étudiée et de la séquence d'activités de la journée type.

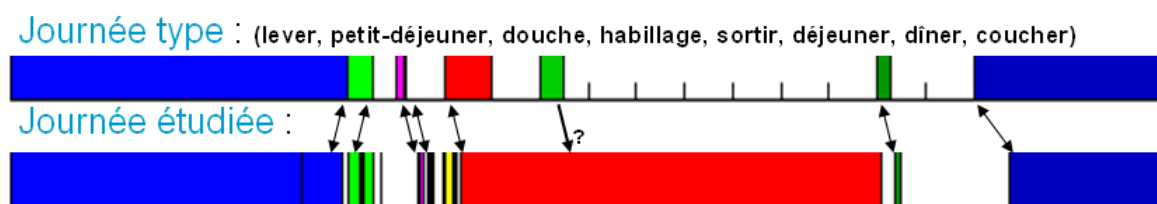


Figure 3-30 - Comparaison de séquences d'activités (journée étudiée et journée type)

Dans cet exemple, les activités « lever, petit-déjeuner, douche, habillage, sortir, dîner, et coucher » des deux séquences sont comparées une à une. Dans cette journée étudiée, l'occupant sort pendant l'horaire du déjeuner et nous ne pouvons pas comparer l'activité « déjeuner » des deux séquences.

La ressemblance de l'horaire, de la durée et de l'ordre chronologique de chaque activité est estimée par un score. Le score pour une journée est la somme des scores de toutes les activités. La variation de ce score, jour après jour, représente l'évolution du rythme de vie de l'occupant. Une grande diminution de ce score sur une longue période (de quelques jours à quelques semaines) peut être un signal de la dégradation de l'état d'autonomie de l'occupant.

Nous développons deux méthodes de notation : l'une utilise la séquence d'activités habituelles, issue du questionnaire, et un barème prédéfini ; l'autre méthode utilise la séquence d'activités habituelles construite grâce aux données relevées sur quelques mois précédents et un barème statistique. Les deux méthodes de notation sont présentées en détail dans les paragraphes suivants.

3.4.2.2 Notation par barème prédéfini

Dans cette méthode, la séquence type est construite à partir de la réponse au questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant vivant dans le premier appartement. On a 8 activités dans la séquence type qui sont : lever, petit-déjeuner, douche, habillage, sortir, déjeuner, dîner et coucher. Les activités n'ont pas le même effet sur l'estimation des 3 critères (l'horaire, la durée moyenne et l'ordre chronologique). Par exemple, le décalage horaire de 60 minutes de la sortie est moins important que celui du lever ; l'écart de durée de 20 minutes du déjeuner est plus important que celui de la sortie. Nous rencontrons des difficultés pour fixer les scores et les écarts tolérés. Nous présentons ici un choix, tout à fait subjectif pour illustrer notre idée. Chaque activité dans la séquence de la journée étudiée est comparée avec l'activité correspondante dans

la séquence type. On calcule un score en se basant sur le barème présenté dans le Tableau 3-1. Ce barème a été déterminé de façon tout à fait arbitraire. Il faudrait le concours d'experts pour le rendre plus pertinent.

Tableau 3-1 – Barème de notation

Critère	Estimation	Score (nombre de points attribués)
horaire	décalage horaire inférieur ou égal à 20 minutes	15
	décalage horaire supérieur à 20 minutes et inférieur ou égal à 40 minutes	10
	décalage horaire supérieur à 40 minutes et inférieur ou égal à 60 minutes	5
	décalage horaire supérieur à 60 minutes	0
durée	écart de durée inférieur ou égal à 5 minutes	15
	écart de durée supérieur à 5 minutes et inférieur ou égal à 10 minutes	10
	écart de durée supérieur à 10 minutes et inférieur ou égal à 15 minutes	5
	écart de durée supérieur à 15 minutes	0
ordre chronologique	garder l'ordre chronologique : 'activité habituelle précédente – cette activité – activité habituelle suivante'	10
	garder une partie de l'ordre chronologique : 'activité habituelle précédente – cette activité' ou 'cette activité – activité habituelle suivante'	5
	Sans ordre chronologique	0

Si une activité est proche de l'activité correspondante dans la séquence type, son score de réalisation sera maximal et égal à 40 points. Les sorties nous posent des problèmes puisqu'elles provoquent la non réalisation d'activités dans l'habitat mais que ces activités sont probablement réalisées en dehors de l'habitat. Nous choisissons d'ignorer ces activités au lieu de leur affecter le score 0.

Le pourcentage de réalisation des activités dans une journée est calculé par la formule :

$$\text{Pourcentage de réalisation} = \frac{\sum \text{score d'une activité}}{\text{activités} \setminus \{ \text{sorties} \}} \cdot 100\%$$

$$\text{Score maximal d'une journée} = \text{Score maximal d'une activité} * \text{Nombre d'activités} \setminus \{ \text{sorties} \}$$

Nous pouvons observer l'évolution du pourcentage de réalisation jour après jour pour suivre l'évolution du rythme de vie de l'occupant et signaler dans le cas où le pourcentage de réalisation d'une journée est trop bas et reste bas dans les jours suivants par rapport aux jours récents. Si le pourcentage remonte, le système n'émet aucune alerte. La Figure 3-31 présente le pourcentage de réalisation pendant 31 jours de données du mois de mai 2005 provenant du premier appartement de la plateforme AILISA.

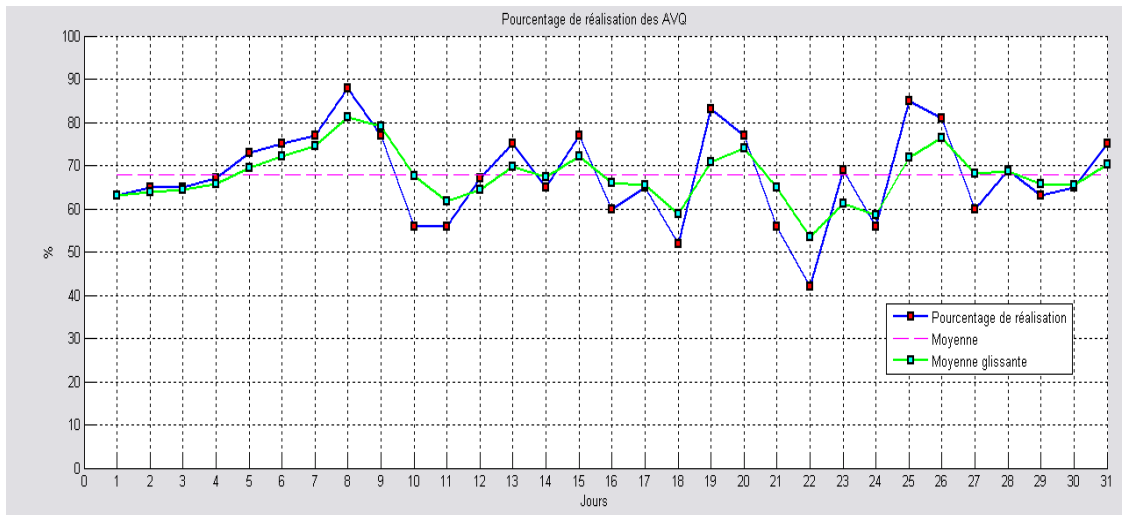


Figure 3-31 - Pourcentage de réalisation des AVQ pendant les 31 jours du premier appartement

La Figure 3-32 présente le pourcentage de réalisation des AVQ pendant les 90 jours de données du premier appartement.

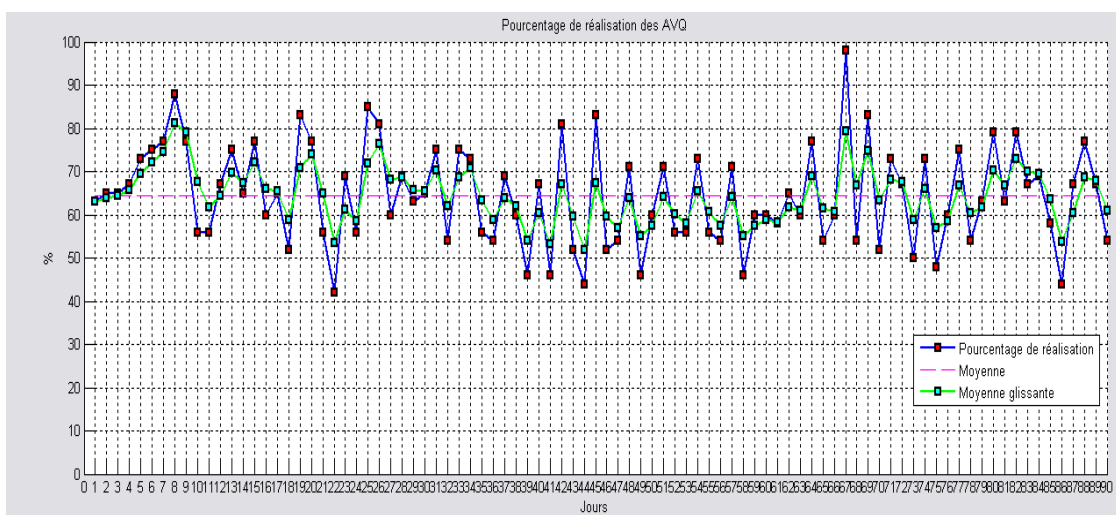


Figure 3-32 - Pourcentage de réalisation des AVQ pendant les 90 jours du premier appartement

La Figure 3-33 présente le pourcentage de réalisation des AVQ pendant les 16 jours de données du deuxième appartement.

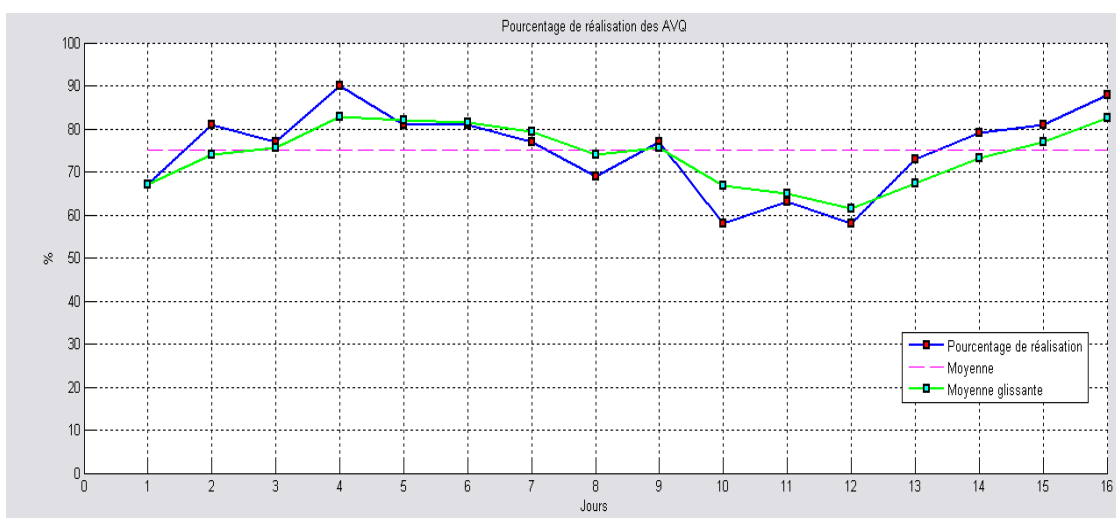


Figure 3-33 - Pourcentage de réalisation des AVQ sur les 16 jours du deuxième appartement

Nous observons sur les figures que le pourcentage de réalisation des AVQ varie beaucoup d'un jour à l'autre. Il ne nous permet pas d'observer de tendance ni d'évaluer l'autonomie de l'occupant. Quatre éléments peuvent provoquer une grande variation du pourcentage de réalisation d'un jour à l'autre : le changement du rythme de vie de l'occupant, qui est un élément essentiel, la fausse reconnaissance d'activités, la variation de la durée des sorties, et les activités n'ayant pas le même effet sur les critères d'évaluation (horaire, durée, ordre chronologique), qui

sont des éléments parasites. Pour diminuer l'influence des éléments parasites, nous devons apporter des améliorations au barème de notation (redistribuer des scores sur les critères et/ou mettre des poids sur quelques activités pour ajuster le barème). Par ailleurs, des données sur des situations où l'autonomie de l'occupant se dégrade, sont nécessaires pour que l'on puisse observer l'évolution du pourcentage de réalisation dans le cas de perte d'autonomie.

Une autre méthode de notation, dans laquelle la séquence type et le barème sont construits à partir des données statistiques, est présentée dans le paragraphe suivant.

3.4.2.3 Notation par barème statistique

Dans cette méthode, pour calculer le score de réalisation d'une activité, on compare son heure de réalisation actuelle avec ses heures de réalisation statistiques dans un mois précédent. En général, l'heure de réalisation d'une activité se répartit dans une période de la journée. Si l'heure de réalisation actuelle est proche de cette période, son score de réalisation est grand. Pour estimer les périodes dans la journée où l'heure de réalisation d'une activité se répartit, nous observons l'histogramme des heures de réalisation dans un mois. La Figure 3-34 présente l'histogramme des heures de sortie de l'occupant pendant 31 jours au premier appartement (intervalle 1 seconde, 5 minutes puis 30 minutes).

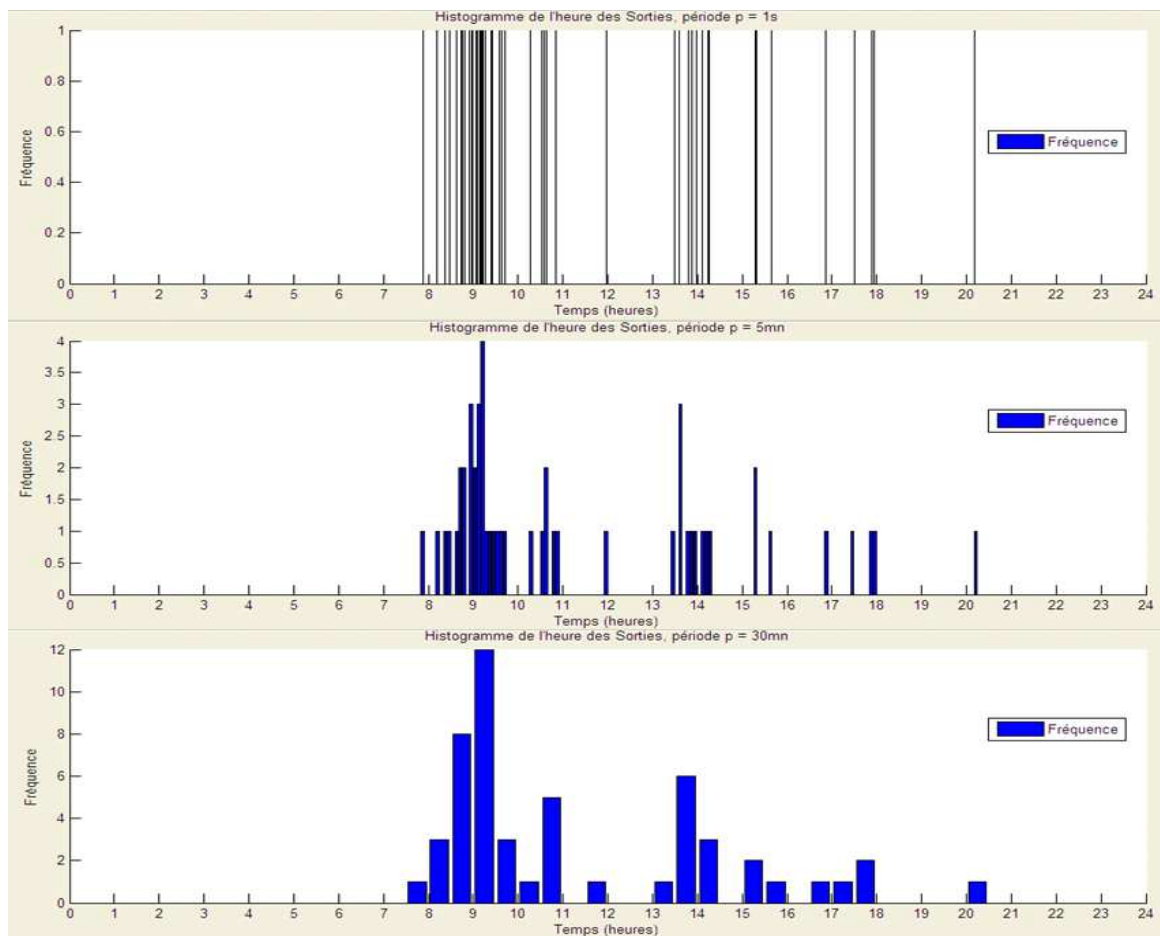


Figure 3-34 – Histogramme des heures de sortie (intervalle de 1s, 5min et 30min)

Nous observons que l'heure de sortie se répartit entre 7h et 21h et se concentre dans la période de 7h à 11h. Ce qui nous intéresse c'est la forme de l'histogramme et pas la loi de distribution puisque nous utilisons la forme de l'histogramme pour déduire le score de réalisation d'une activité. La forme de l'histogramme est discrète, ce qui cause une grande variation du score de réalisation dans l'étape de déduction. Nous cherchons alors une méthode pour lisser la forme de l'histogramme.

La théorie de l'estimation par lissage [Bowman et Azzalini, 1997], incluse dans le logiciel Matlab, permet d'obtenir une bonne approximation de l'histogramme de l'heure de réalisation d'une activité. Le résultat obtenu est la fonction de densité de probabilité (FDP) de l'heure de réalisation d'une activité. Dans le lissage, on utilise un noyau gaussien et une constante h , qui est appelée constante de lissage. Son rôle est déterminant, à l'image de la largeur des classes de l'histogramme : si h est faible, la FDP sera très peu régulière, si h est grande, la FDP sera très

lisse. La valeur optimale de h se détermine souvent empiriquement. La Figure 3-35 présente la FDP de l'heure de sortie de l'occupant avec 3 valeurs différentes de h : 1 seconde, 5 minutes et 30 minutes.

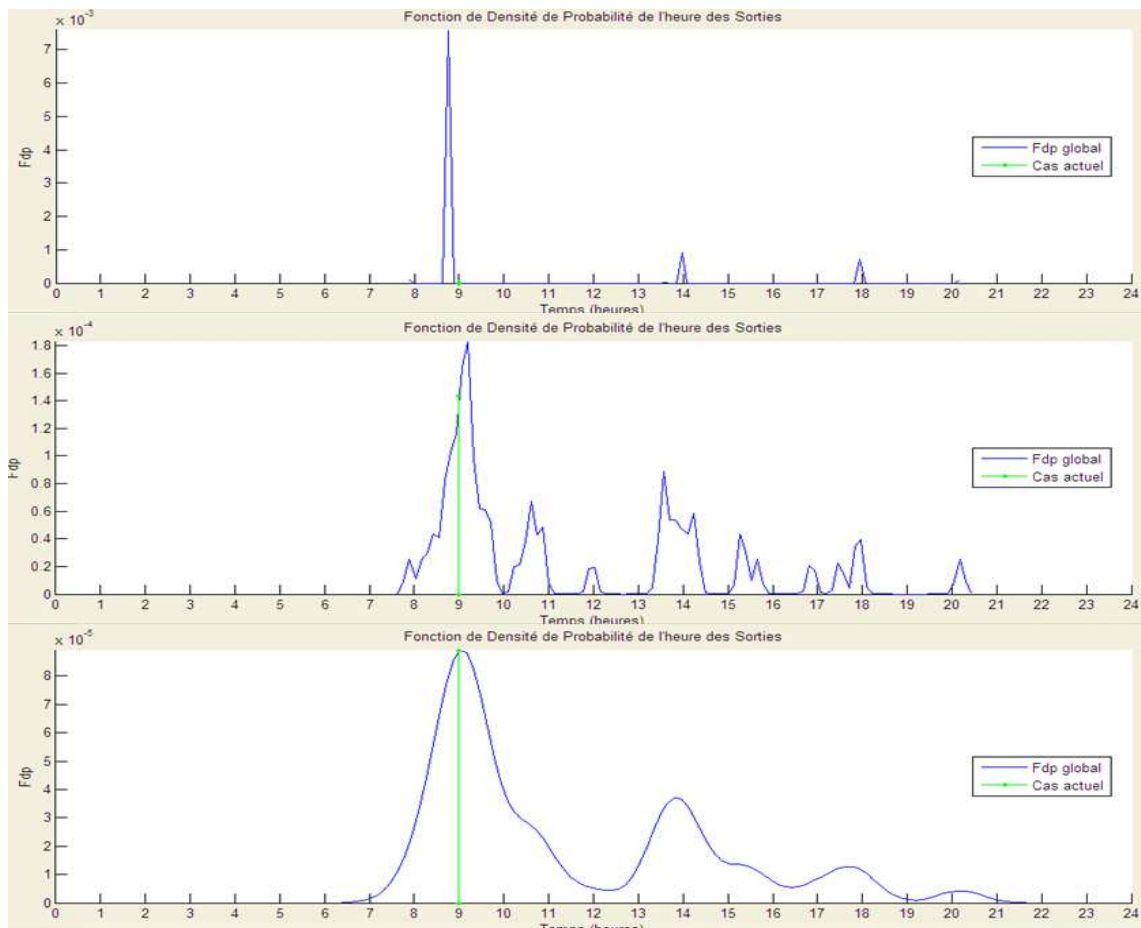


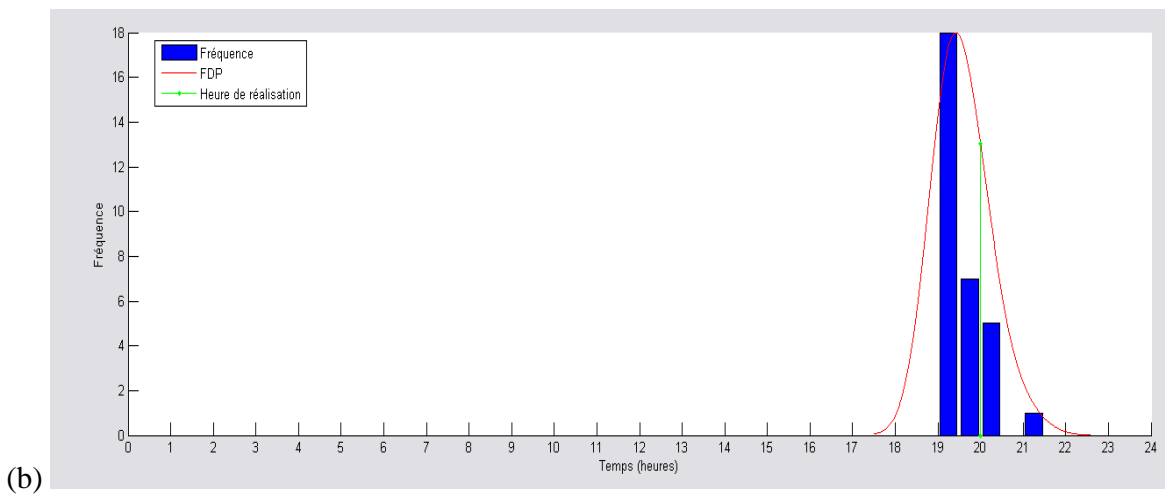
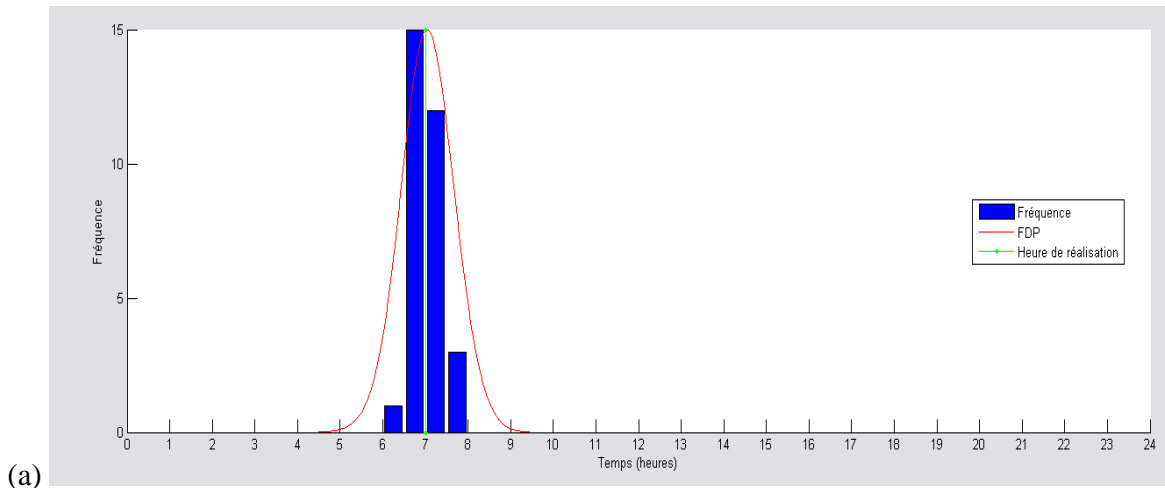
Figure 3-35 - FDP de l'heure de sortie avec $h=1s$, $h=5min$ et $h=30min$

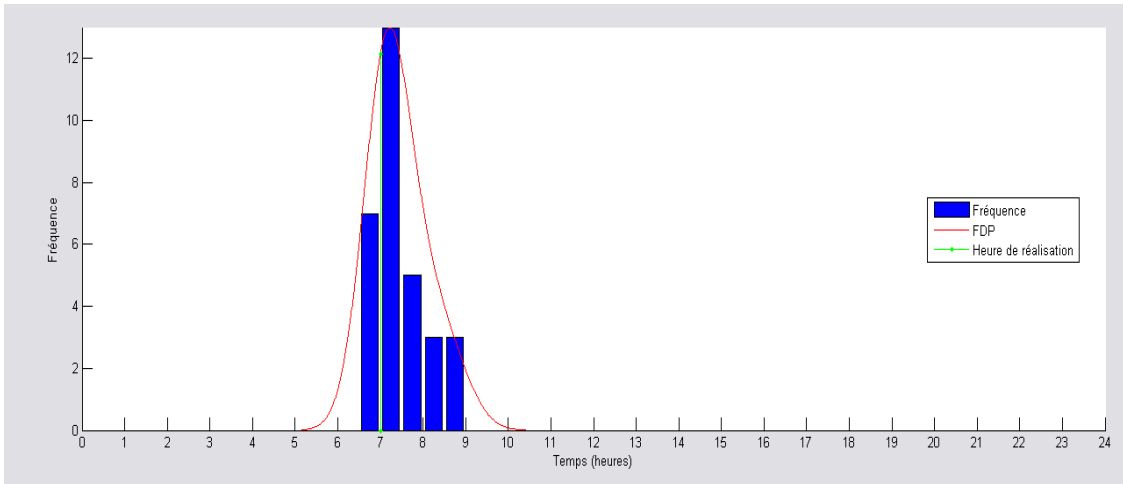
Pour les activités qui peuvent être réalisées plusieurs fois dans la journée telles que : aller aux toilettes, prendre une douche ou s'habiller, l'heure de réalisation peut couvrir toute la journée. S'il existe des horaires habituels pour ces activités, ils sont souvent assez larges. Il n'est alors pas indispensable d'être très précis sur l'heure de réalisation de ces activités. Nous choisissons alors une grande valeur de h ($h=60min$) pour que la FDP soit lisse.

Pour les activités qui sont réalisées une seule fois dans la journée comme : le lever, le coucher, ou la prise de chaque repas, les heures de réalisation se concentrent souvent dans une période précise de la journée. L'heure et l'horaire habituels des activités sont souvent indiqués dans le questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant. L'horaire habituel des activités est assez

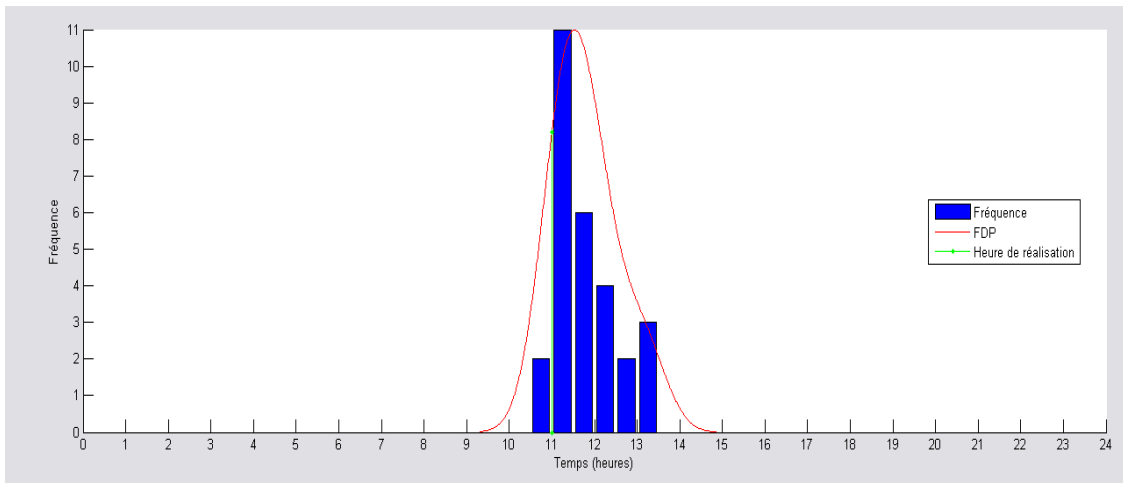
étroit. Nous choisissons alors une valeur moyenne de h ($h=30\text{min}$) pour que la FDP soit proche de la forme de l'histogramme mais assez lisse.

La Figure 3-36 et la Figure 3-37 présentent la FDP obtenue pour l'heure de réalisation de 7 activités : lever, coucher, prise des repas, sortir, aller aux toilettes, prise d'une douche et habillage, sur les 31 jours du premier appartement.

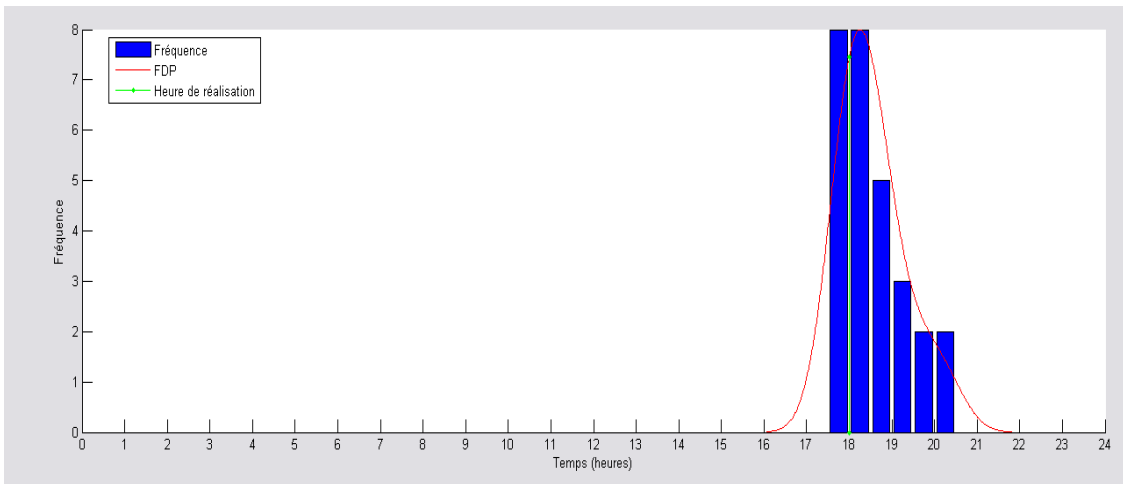




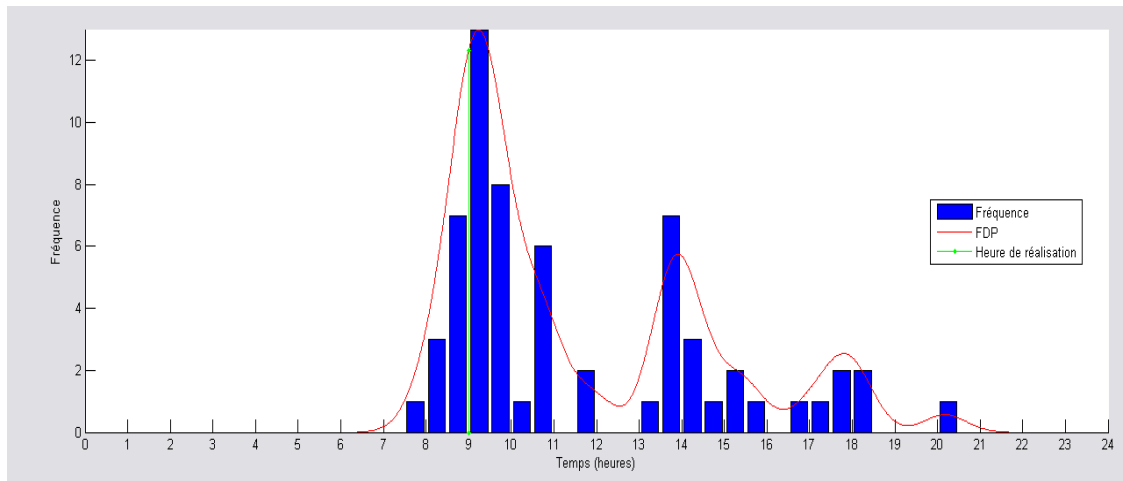
(c)



(d)



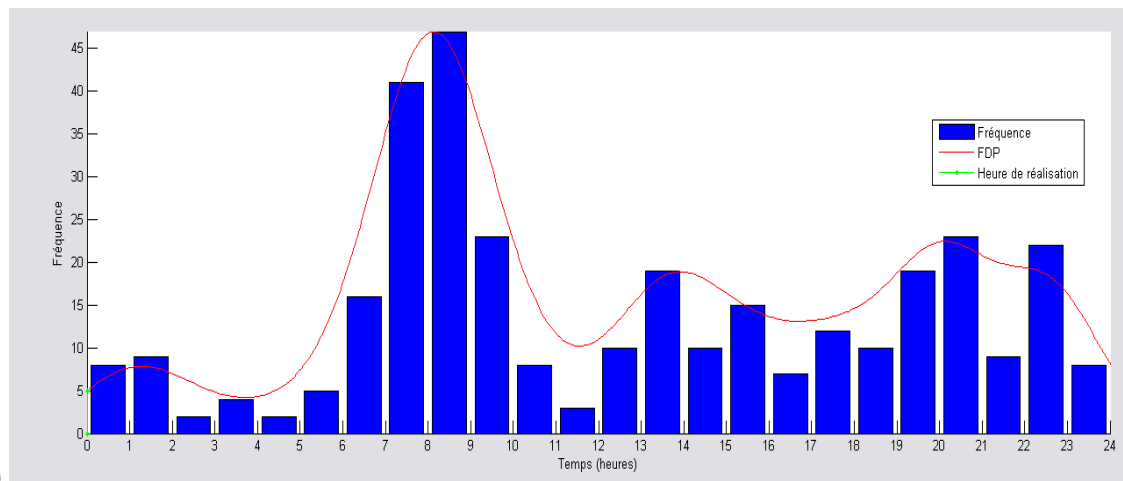
(e)



(f)

Figure 3-36 - FDP de l'heure de lever (a) et coucher (b), l'heure de prise des repas : petit-déjeuner (c), déjeuner (d), dîner (e), l'heure de sortie (f) avec $h=30\text{min}$

Nous observons que les distributions de l'heure de lever, de coucher (voir Figure 3-36 a, b) et de prise des repas (voir Figure 3-36 c, d, e) se concentrent sur une période de la journée, alors que les distributions de l'heure d'« aller aux toilettes », de l'« habillage » ou de la douche sont réparties sur plus d'une demie journée (voir Figure 3-37).



(a)

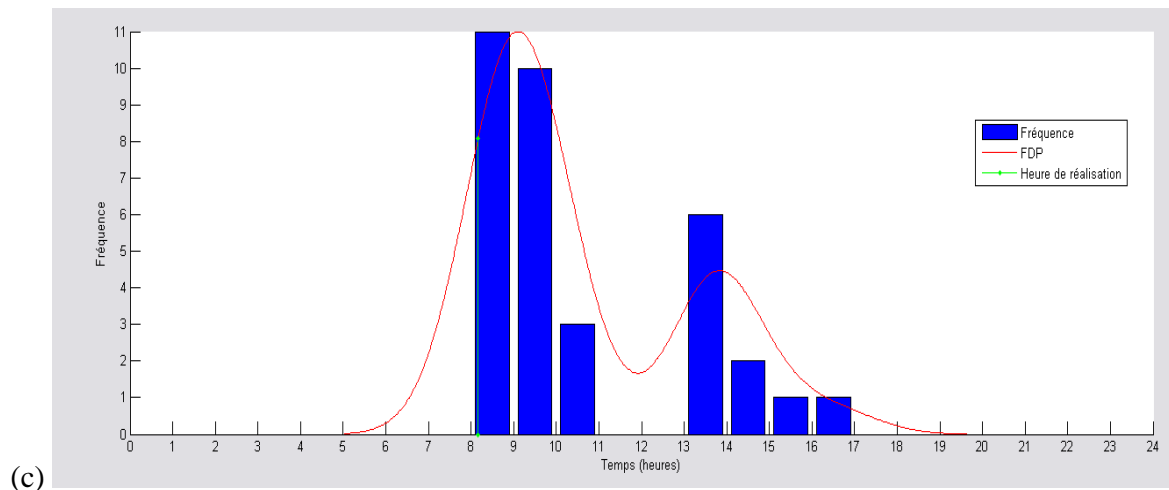
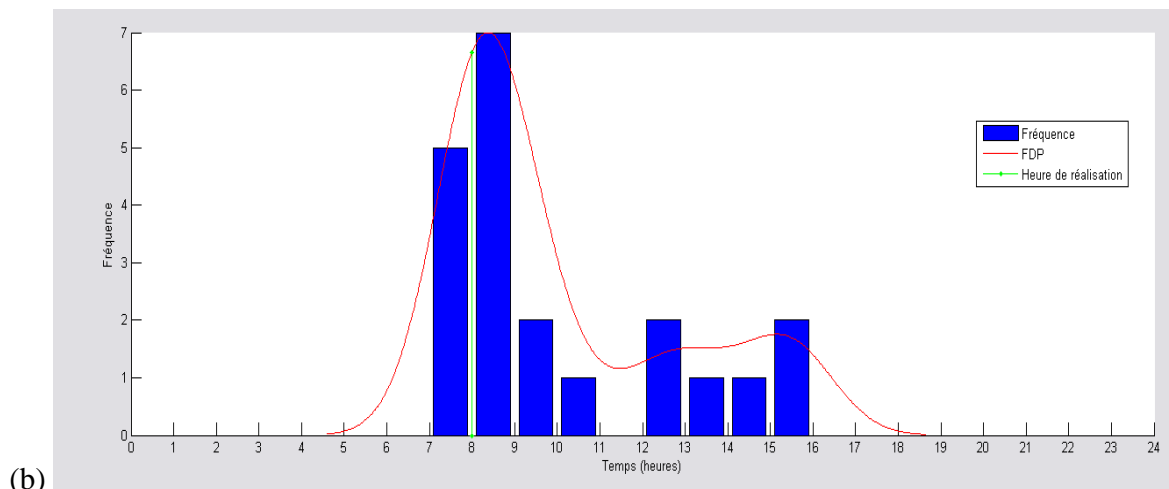


Figure 3-37 - FDP de l'heure d'aller aux toilettes (a), l'heure de prise d'une douche (b), l'heure d'habillage (c) avec $h = 60\text{min}$

Par rapport à la méthode de notation présentée au paragraphe 3.4.2.2, seul le critère de l'horaire est utilisé pour évaluer des activités, mais on peut évaluer les activités dont l'information est difficile à obtenir en détail par le questionnaire (telle que : aller aux toilettes, qui peut se produire plusieurs fois par jour). Nous distinguons également les trois occurrences de la prise des repas : petit-déjeuner, déjeuner, dîner. Nous évaluons ainsi l'heure de réalisation de 9 activités qui sont lever, coucher, petit-déjeuner, déjeuner, dîner, sortir, aller aux toilettes, douche et habillage.

Dans la méthode, nous commençons par estimer la FDP de l'heure de réalisation des 9 activités à partir des données statistiques sur quelques mois précédents. Pour les 90 jours de données du premier appartement, nous utilisons les 31 jours de données du mois de mai 2005 comme

données d'apprentissage pour estimer la FDP de l'heure de réalisation des AVQ pour l'ensemble des 90 jours. Le processus d'attribution d'un score de réalisation pour chaque activité dans la séquence d'activités de la journée étudiée est présenté dans l'organigramme de la Figure 3-38.

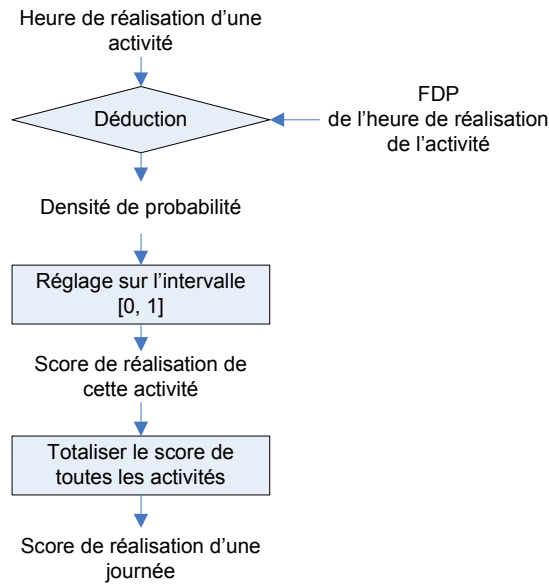


Figure 3-38 – Organigramme de la notation utilisant le barème statistique

Pour chaque activité, à partir de son heure de réalisation dans la journée étudiée, on peut déduire sa densité de probabilité sur sa courbe de FDP. La Figure 3-39 illustre l'étape de déduction de la densité de probabilité de l'heure de réalisation d'une activité. Par exemple, pour un lever à 07:04:30, on trouve une densité de probabilité de 1.77×10^{-4} ; pour un coucher à 21:19:48, on trouve une densité de probabilité de 1.05×10^{-5} .

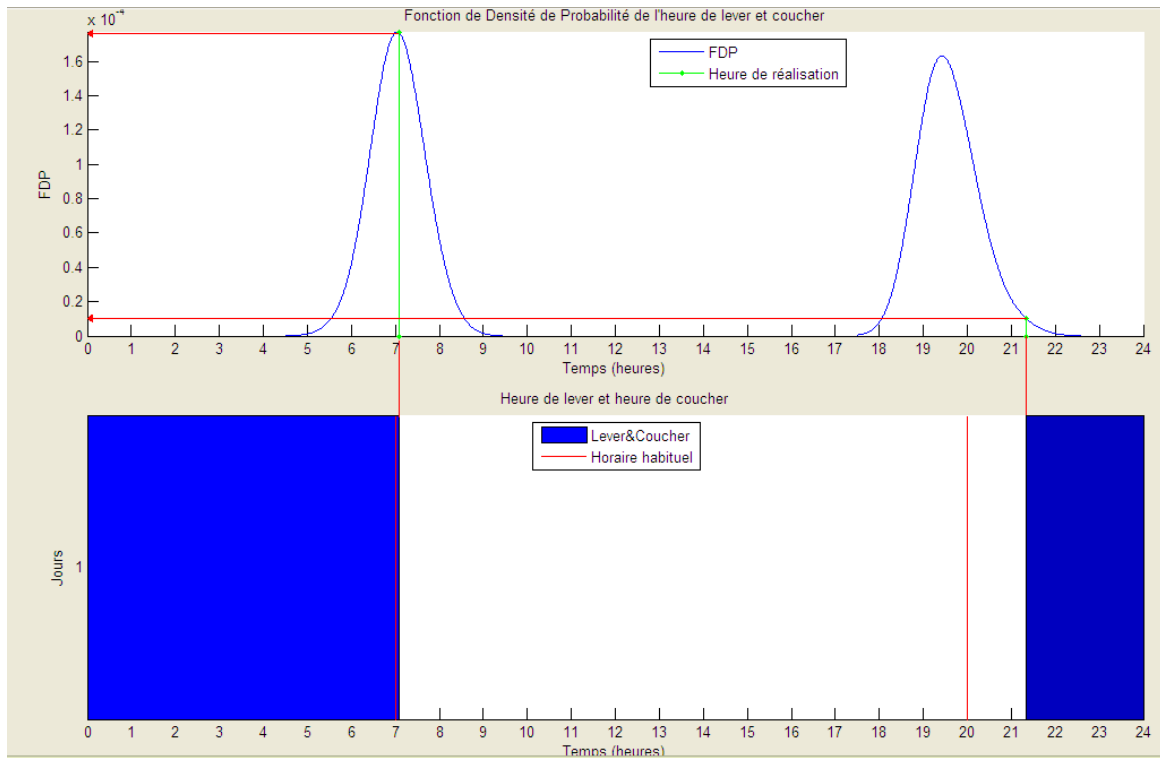


Figure 3-39 – Dédution de la densité de probabilité de l’heure de lever et coucher

Ensuite, nous considérons que le score d’une activité varie entre 0 et 1. La valeur de densité de probabilité trouvée appartiendra alors à l’intervalle $[0, 1]$ et la valeur obtenue est le score de réalisation de cette activité. Plus l’heure de réalisation d’une activité est proche de son heure de réalisation habituelle, plus le score de cette activité sera élevé et proche de 1. La Figure 3-40 présente le score de réalisation des 9 activités dans une journée.

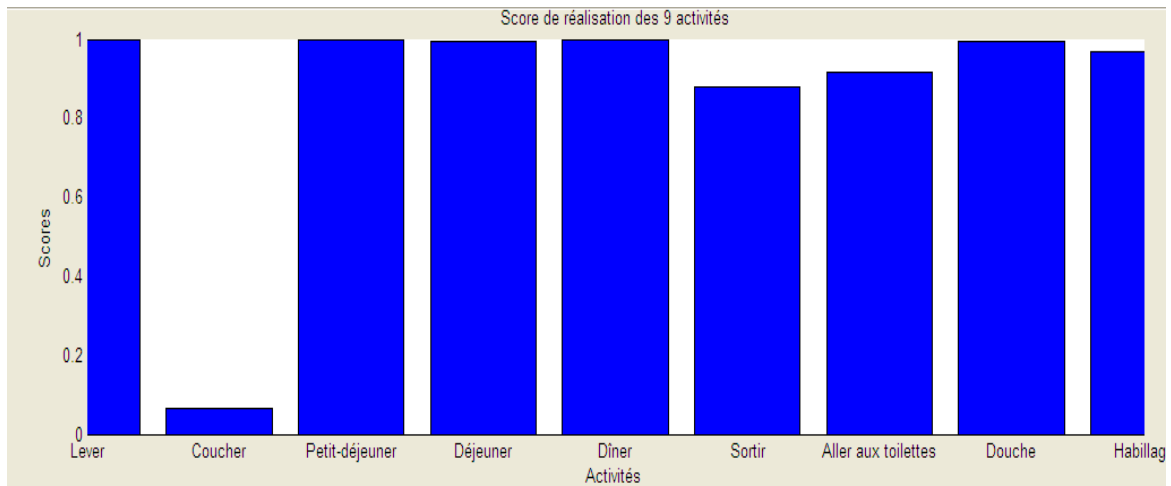


Figure 3-40 – Score des activités d’une journée

Le score de réalisation d’une journée est la somme des scores des 9 activités. La valeur maximale du score de réalisation d’une journée est donc 9 points. La Figure 3-41 présente le score de réalisation de 90 jours de données, concernant l’occupant vivant dans le premier appartement de la plateforme AILISA.

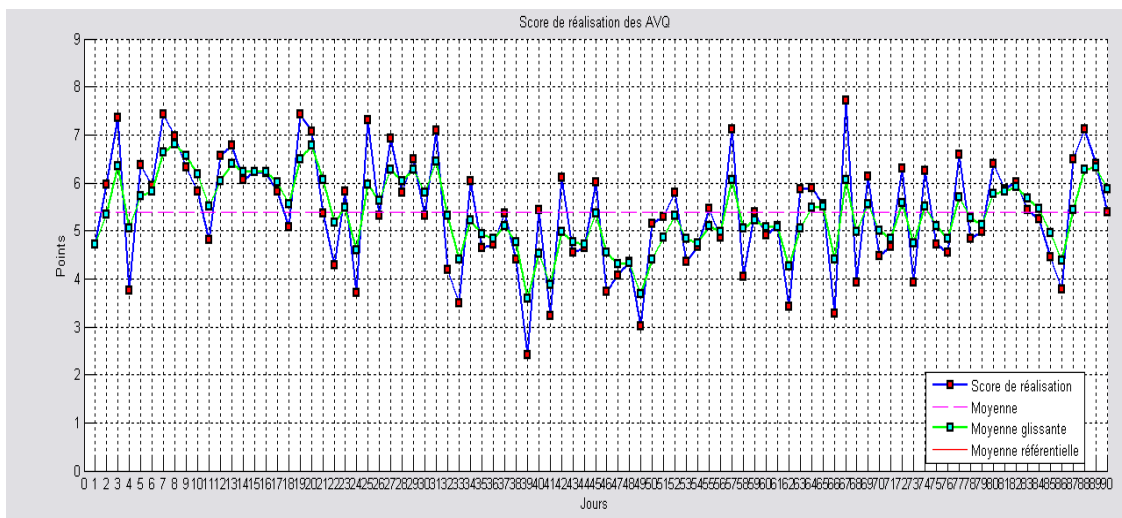


Figure 3-41 – Score de réalisation de 90 jours de données du premier appartement

Dans une journée étudiée, plus la séquence des activités réalisées par l’occupant est différente de la séquence habituelle (séquence d’activités habituelles du mois de données d’apprentissage), plus le score de réalisation de la journée est éloigné de 9 points. Nous estimons que le score de réalisation d’une journée inférieur à 4,5 points est le seuil pour considérer cette journée comme ‘inhabituelle’. Si le score d’une journée devient inférieur à 4,5 points et y reste ou ne remonte pas

dans une longue période (une semaine par exemple), c'est peut-être un signal de la perte d'autonomie.

Dans la Figure 3-41, on observe que le score de réalisation varie beaucoup d'un jour à l'autre. Il ne nous permet pas d'observer de tendance ni d'évaluer l'autonomie de l'occupant. Nous pouvons peut-être améliorer le barème en pondérant les scores correspondant à certaines activités.

Pour les données du deuxième appartement, nous n'avons que 16 jours de données, ce qui n'est pas suffisant pour constituer un ensemble de données d'apprentissage et un ensemble de test. Donc, seul le premier appartement a été considéré.

Conclusion :

Nous manquons de liens entre les données enregistrées et l'état réel de l'occupant. Nous ne pouvons alors pas encore évaluer directement l'autonomie de l'occupant en nous basant sur le score de réalisation des jours. Par ailleurs, il est encore difficile de dire si une journée est 'inhabituelle' car le rythme de vie de l'occupant n'est pas si régulier qu'on le pensait. Les études comportant de longues périodes d'observation de la vie réelle des personnes âgées montrent que les personnes âgées ont des habitudes de vie ou des rythmes de vie assez réguliers [Ohta et al., 2002]. Mais, dans notre cas d'étude, en observant la vie quotidienne de deux octogénaires, nous trouvons que leur rythme de vie n'est pas vraiment régulier. Leur rythme de vie est influencé par la durée de leurs sorties. Dans une journée, l'occupant peut sortir une ou plusieurs fois avec une durée indéterminée pour : se promener, marcher et faire des courses, rendre visite à des proches, etc. La durée de sortie influence l'heure de réalisation d'autres activités de la vie quotidienne, par exemple : un lever plus matinal, un dîner plus tardif, un coucher plus tardif, cela diminue le nombre de fois qu'il va aux toilettes à domicile, et peut correspondre à un repas pris à l'extérieur du domicile, etc. On aurait besoin d'étudier les activités d'autres personnes âgées afin d'avoir une évaluation globale de la régularité du rythme de vie des personnes âgées. A notre avis, le rythme de vie d'une personne âgée dépend son mode de vie. Cela étant, plus le rythme de vie de l'occupant est régulier, plus il sera facile de détecter un changement de rythme.

Chapitre 4

Résultats

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus en appliquant les 3 étapes du processus de traitement de données : étape de correction, étape de traitement séquentiel et étape de reconnaissance d'activités, décrites au chapitre 3, à l'ensemble des données issues de la plateforme grenobloise d'AILISA. Nous avons écrit un programme en langage Matlab pour exécuter les traitements, les calculs et afficher les résultats. Ce programme, présenté dans l'annexe D, a une interface qui permet à l'opérateur de saisir les paramètres du traitement et de choisir l'appartement et le jour de données à traiter.

La base de données dont nous disposons comporte au total 106 jours et 24 heures de données, dont 90 jours de données enregistrées dans le premier appartement de la plateforme AILISA (31 jours en mai 2005, 11 jours en janvier 2007, 12 jours en février 2007, 4 jours en mars 2007, 7 jours en juin 2007, 6 jours en juillet 2007, 19 jours en août 2007) et 16 jours et 24 heures de données enregistrées dans le deuxième appartement de la plateforme AILISA (16 jours en janvier 2007, 24 heures de données sur 2 jours en septembre 2008, du 11 septembre à 17h30 au 12 septembre à 17h30) (voir Figure 4-1).

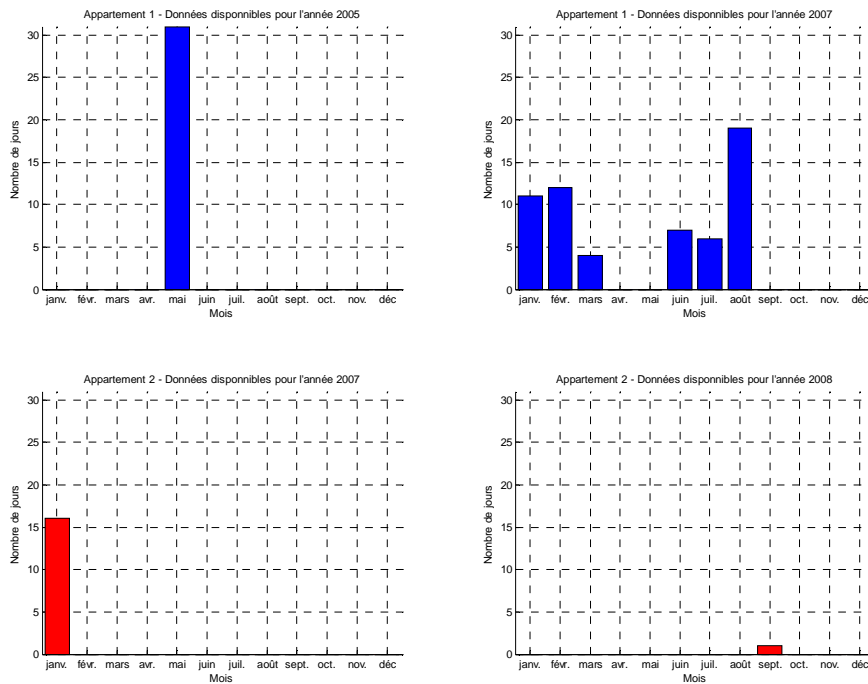


Figure 4-1 – Données disponibles de la plateforme AILISA

Les données ne sont pas consécutives, suite à des problèmes techniques rencontrés sur la plateforme (batterie interne du capteur épuisée).

4.1 Etape de correction

Dans l'étape de correction, nous appliquons successivement les corrections pour les incohérences TYPE 3 (entrelacement des déclenchements dans les zones non disjointes), les incohérences TYPE 1 (absence de déclenchement dans la zone intermédiaire) et les incohérences TYPE 2 (absence de déclenchement en sortie de zone) sur les données fournies, chaque jour, par les capteurs. Pour les incohérences TYPE 3, nous avons une correction pour les capteurs en dehors de la salle de bain (appelée « correction 3a ») et une autre correction pour les capteurs dans la salle de bain (appelée « correction 3b »). La Figure 4-2 présente la courbe de déclenchements des capteurs enregistrés dans une journée : le jour 81 (c'est le 13 août 2007 dans le premier appartement).

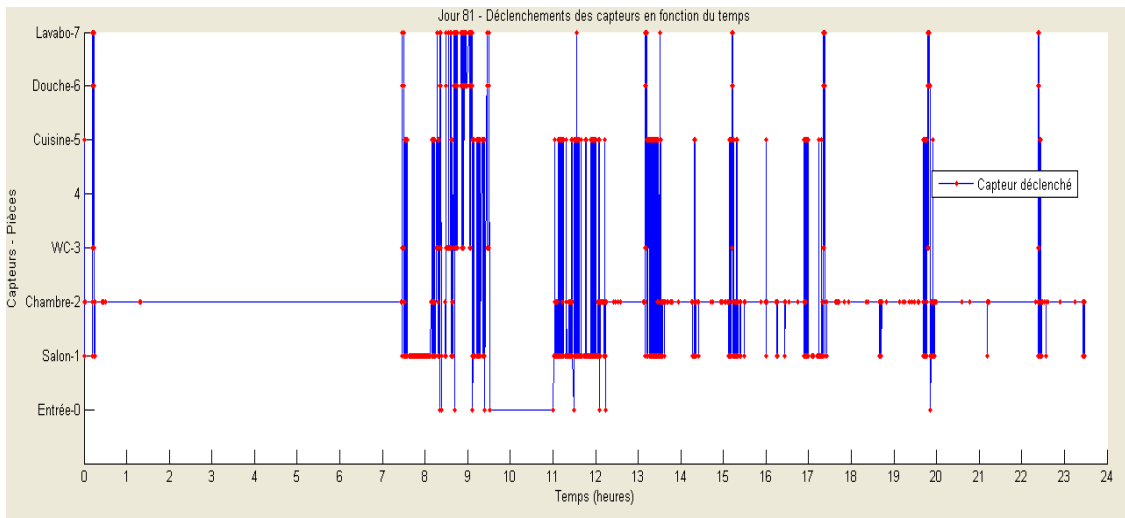


Figure 4-2 - Courbe de déclenchements des capteurs enregistrés pour le jour 81

Pour une meilleure lisibilité, nous proposons de ne considérer que la période 7h27-7h35 pour les cinq figures suivantes (Figure 4-3 à Figure 4-7).

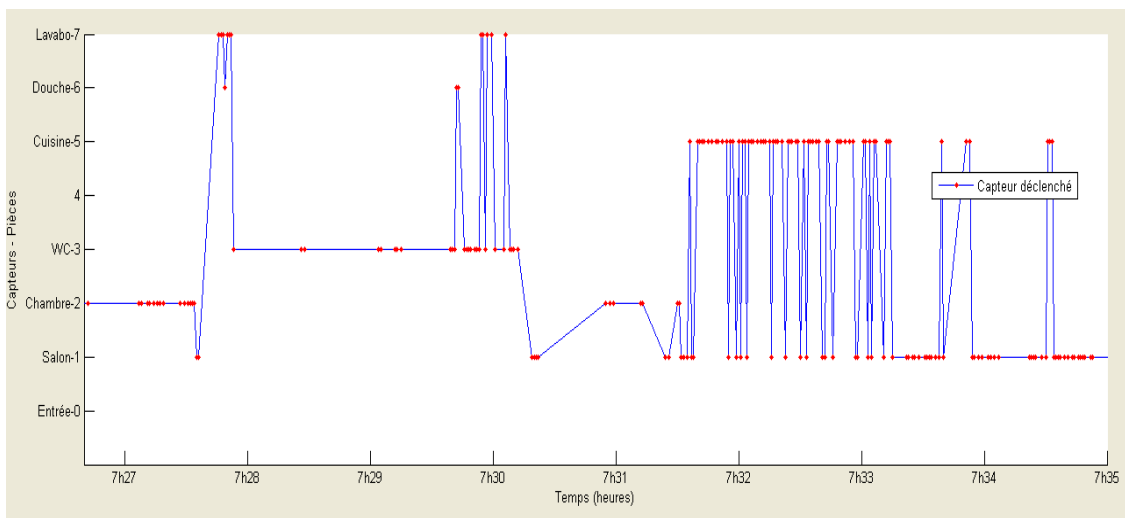


Figure 4-3 - Zoom de la Figure 4-2 sur la période 7h27-7h35

La Figure 4-4 présente la courbe de déclenchements des capteurs obtenue après la correction des incohérences TYPE 3 des capteurs en dehors de la salle de bain.

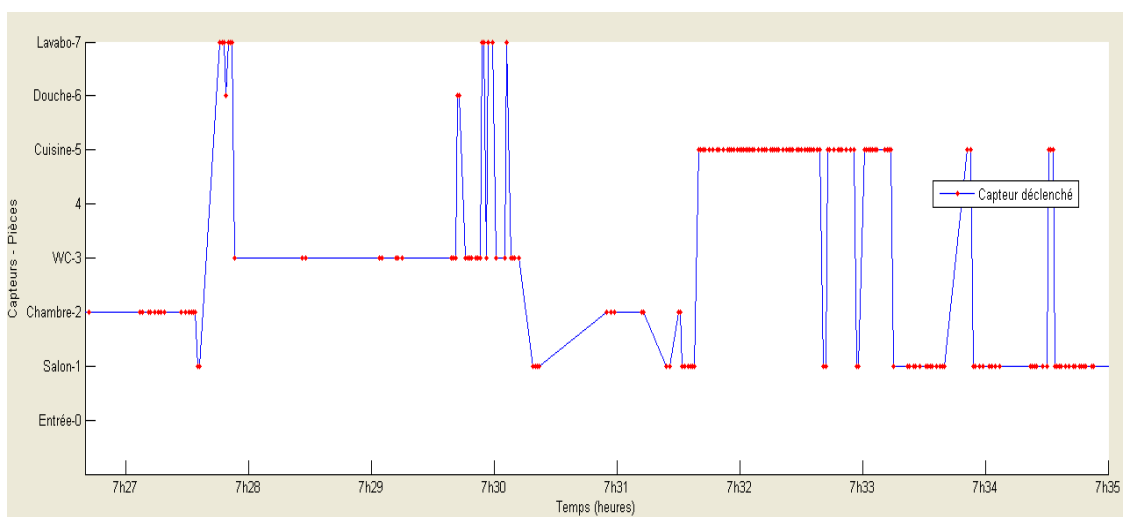


Figure 4-4 - Courbe de déclenchements des capteurs après la « correction 3a »

On observe des modifications dans la période 7h32-7h33. Les déclenchements « solitaires » du capteur 1 (salon) sont remplacés par des déclenchements du capteur 5 (cuisine).

La Figure 4-5 présente la courbe de déclenchements des capteurs obtenue après la correction des incohérences TYPE 3 des capteurs dans la salle de bain.

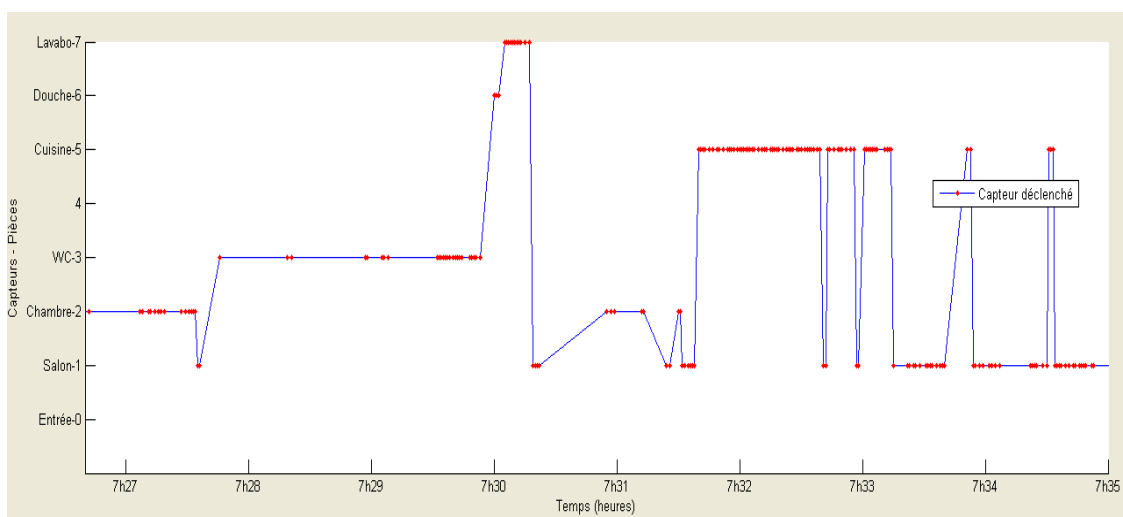


Figure 4-5 - Courbe de déclenchements des capteurs après la « correction 3b »

Dans la période 7h28-7h30, les déclenchements du capteur 3 (WC), du capteur 6 (douche) et du capteur 7 (lavabo) sont triés et classés selon l'ordre de priorité (présentée au paragraphe 2.3) : déclenchements du capteur des WC - déclenchements du capteur de la douche - déclenchements du capteur du lavabo. Nous pouvons interpréter cette série de déclenchements des capteurs

comme : l'occupant va aux toilettes puis se lave les mains au lavabo ; les déclenchements du capteur de la douche sont dus aux intersections des zones de détection des capteurs dans la salle de bain et ne correspondent à aucune activité supplémentaire.

La Figure 4-6 présente la courbe de déclenchements des capteurs obtenue après la correction des incohérences TYPE 1.

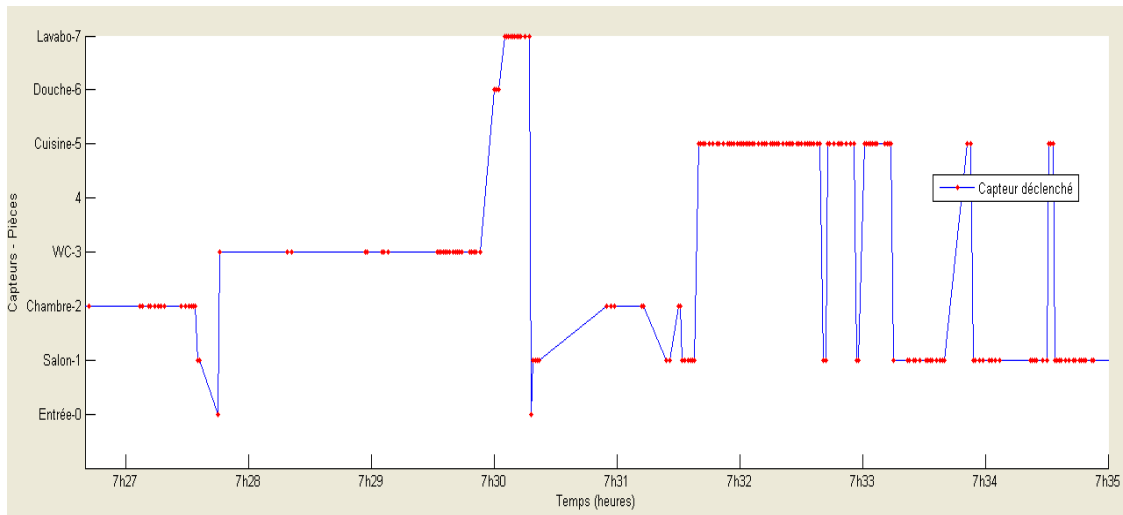


Figure 4-6 - Courbe de déclenchements des capteurs après la « correction 1 »

Deux absences de déclenchement du capteur 0 (l'entrée étant la zone intermédiaire entre le salon et la salle de bain) sont complétées.

La Figure 4-7 présente la courbe de déclenchements des capteurs obtenue après la correction des incohérences TYPE 2.

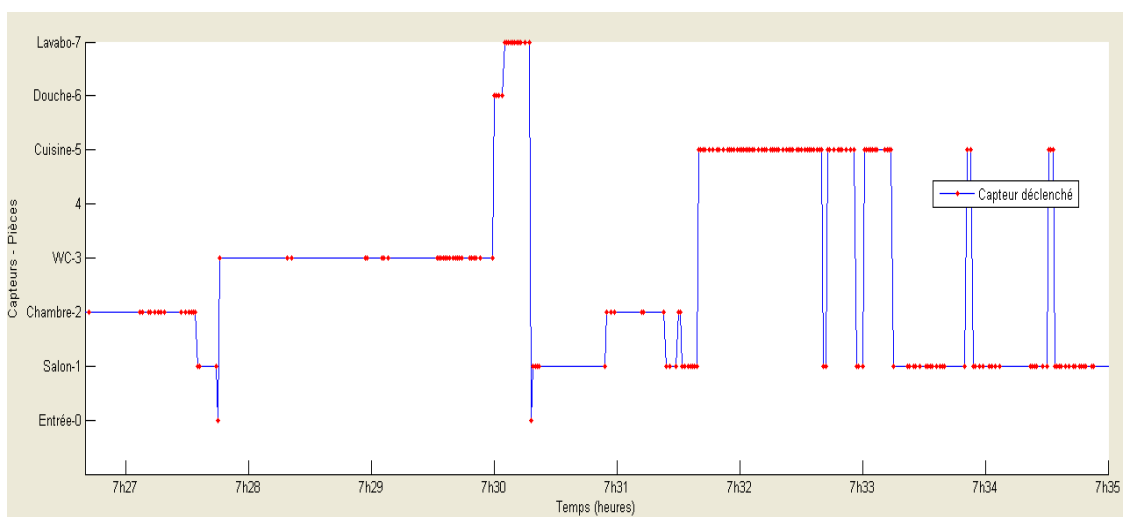


Figure 4-7 – Courbe de déclenchements des capteurs après la « correction 2 »

Plusieurs absences de déclenchement en sortie de zone sont complétées.

La Figure 4-8 présente la courbe de déclenchements des capteurs de toute la journée obtenue après l'étape de correction.

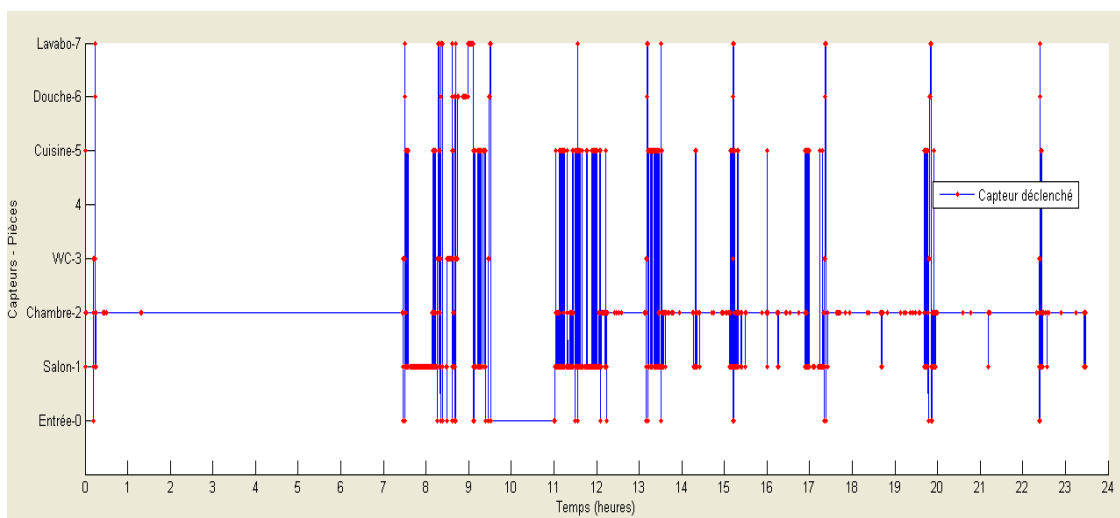


Figure 4-8 - Courbe de déclenchements des capteurs après l'étape de correction

Après l'étape de correction, nous constatons que les 90 jours de données du premier appartement ont nécessité des modifications (soit 100% des jours). Le Tableau 4-1 présente successivement le nombre de déclenchements des capteurs enregistrés chaque jour, le nombre de modifications pour chaque type d'incohérence et le nombre de déclenchements des capteurs après l'étape de correction.

Tableau 4-1 - Nombre de déclenchements des capteurs et nombre de modifications pour les 90 jours

Jour	Avant	C3a	C3b	C1	C2	Après	Jour	Avant	C3a	C3b	C1	C2	Après
1	4728	143	24	3	196	4927	46	6680	274	14	19	250	6949
2	6947	250	27	2	250	7199	47	5129	200	14	17	210	5356
3	5345	228	24	1	239	5585	48	6910	274	20	25	206	7141
4	3597	117	46	1	148	3746	49	6870	279	12	16	211	7097
5	5355	263	10	0	218	5573	50	4799	141	19	27	159	4985
6	6628	356	16	3	320	6951	51	6768	259	15	17	207	6992
7	10419	440	106	39	482	10940	52	5795	217	20	23	186	6004
8	3866	128	20	2	177	4045	53	5523	231	21	28	203	5754
9	5074	235	14	0	217	5291	54	5238	271	12	14	200	5452
10	4700	183	23	4	234	4938	55	4689	177	14	16	146	4851
11	5080	177	22	2	222	5304	56	6642	303	17	25	236	6903
12	4160	110	16	1	200	4361	57	7015	328	25	31	288	7334
13	4774	114	29	4	212	4990	58	5749	243	24	28	217	5994
14	5926	275	24	2	254	6182	59	6917	229	21	32	271	7220
15	6076	284	15	2	262	6340	60	6054	186	28	32	270	6356
16	6760	268	18	1	275	7036	61	6423	287	18	23	246	6692
17	4505	136	22	2	254	4761	62	5785	204	24	32	235	6052
18	4471	232	14	2	205	4678	63	6148	249	25	33	218	6399
19	5548	206	25	4	218	5770	64	5955	185	21	25	232	6212
20	10821	618	31	5	551	11377	65	6377	185	26	27	251	6655
21	4679	216	15	2	189	4870	66	5877	236	17	30	256	6163
22	5269	196	13	0	250	5519	67	4535	139	19	28	190	4753
23	6343	247	26	3	329	6675	68	6194	253	19	27	257	6478
24	4517	149	17	0	166	4683	69	5941	162	15	18	231	6190
25	7999	288	90	71	348	8418	70	4933	154	13	20	209	5162
26	3865	130	18	24	142	4031	71	8122	376	19	23	300	8445
27	7102	328	14	17	247	7366	72	11110	398	68	65	443	11618
28	5273	241	16	23	182	5478	73	6085	209	22	27	232	6344
29	4003	131	15	25	151	4179	74	8982	290	21	29	425	9436
30	5826	231	19	17	235	6078	75	5693	192	18	20	267	5980
31	6215	283	20	29	247	6491	76	4580	112	17	21	163	4764
32	5789	208	15	17	183	5989	77	4628	146	18	24	213	4865
33	5676	221	15	14	215	5905	78	5911	209	18	22	221	6154
34	5244	173	17	20	193	5457	79	6140	298	17	19	186	6345

35	4983 157 21 22 175 5180	80	6759 354 11 9 184 6952
36	3996 123 17 19 161 4176	81	6324 216 16 21 222 6567
37	4053 124 14 16 151 4220	82	5199 118 28 33 198 5430
38	9445 391 20 20 305 9770	83	6456 232 18 24 217 6697
39	4180 126 22 23 150 4353	84	6544 230 21 22 230 6796
40	6547 242 20 25 225 6797	85	5275 173 13 19 224 5518
41	6366 207 19 17 194 6577	86	5507 184 14 22 189 5718
42	6615 278 29 36 275 6926	87	5877 214 24 35 213 6125
43	5922 152 27 22 218 6162	88	6917 256 22 30 209 7156
44	5271 101 18 15 176 5462	89	5242 179 20 25 193 5460
45	7281 227 21 27 245 7553	90	7736 238 30 37 288 8061

Initialement, sur les 90 jours de données du premier appartement, le nombre de déclenchements des capteurs enregistrés dans une journée est en moyenne de 5 947, au minimum de 3 597, et au maximum de 11 110 ; le nombre de déclenchements des capteurs après l'étape de correction est en moyenne de 6 198, au minimum de 3 746, et au maximum de 11 618.

Après l'étape de correction, nous constatons que les 16 jours de données du deuxième appartement ont nécessité des modifications (soit 100% des jours). Le Tableau 4-2 présente le nombre de déclenchements des capteurs et le nombre de modifications pour les 16 jours.

Tableau 4-2 - Nombre de déclenchements des capteurs et nombre de modifications pour les 16 jours

Jour	Avant C3a C3b C1 C2 Après	Jour	Avant C3a C3b C1 C2 Après
1	9238 215 22 11 294 9543	9	9306 289 36 21 366 9693
2	8658 267 17 9 313 8980	10	9452 234 30 18 330 9800
3	7231 222 25 12 220 7463	11	5906 11 25 20 137 6063
4	9397 264 23 15 224 9636	12	6961 28 31 16 207 7184
5	6057 127 32 21 211 6289	13	10036 86 30 17 249 10302
6	8065 228 20 13 266 8344	14	8224 5 35 21 217 8462
7	6919 100 29 21 206 7146	15	8751 27 36 24 209 8984
8	8756 187 26 17 269 9042	16	4553 3 15 9 142 4704

Initialement, sur les 16 jours de données du deuxième appartement, le nombre de déclenchements des capteurs enregistrés dans une journée est en moyenne de 7 969, au minimum de 4 553, et au maximum de 10 036 ; le nombre de déclenchements des capteurs après l'étape de correction est en moyenne de 8 227, au minimum de 4 704, et au maximum de 10 302.

Dans la correction des incohérences TYPE 3 (3a et 3b), on remplace les déclenchements incohérents par les déclenchements « convenables », sans ajouter de nouveaux déclenchements. Mais dans la correction des incohérences TYPE 1, on doit ajouter de nouveaux déclenchements du capteur 0 (entrée) pour compenser l'absence de déclenchement dans la zone intermédiaire. De la même façon, dans la correction des incohérences TYPE 2, on ajoute les déclenchements en sortie de zone qui manquent. C'est la raison pour laquelle on a plus de déclenchements de capteurs après l'étape de correction qu'avant.

Pour chaque jour de données, la durée d'exécution du programme est inférieure à 5s afin de corriger les incohérences de capteurs et afficher les courbes de résultats.

4.2 Etape de traitement séquentiel

Dans l'étape de traitement séquentiel, nous commençons par la détermination des valeurs de I et N utilisées dans le processus de traitement.

Pour les données provenant du premier appartement de la plateforme AILISA (90 jours de données), nous utilisons un mois complet de données (31 jours de données du mois de mai 2005) comme données d'apprentissage pour déterminer les valeurs de I et N des 4 endroits : entrée, chambre, salon, et WC.

Les valeurs de I pour l'entrée, la chambre, le salon, et les WC sont déterminées en se basant sur l'analyse des histogrammes présentée au paragraphe 3.2. Elle est égale à 29s pour l'entrée, 39s pour la chambre, 25s pour le salon et 25s pour les WC. Ces valeurs de I des 4 endroits sont fixées pour l'ensemble des 90 jours de données.

La valeur de I des 3 autres endroits : cuisine, douche, et lavabo, est estimée par une méthode qui augmente la valeur de I jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'état immobile détecté dans la cuisine, devant le lavabo, ni sous la douche (voir paragraphe 3.2). La valeur de I des 3 endroits peut être

différente d'un jour à l'autre. La Figure 4-9 présente la valeur de I des 3 endroits, estimée et utilisée dans le traitement séquentiel des 90 jours de données du premier appartement.

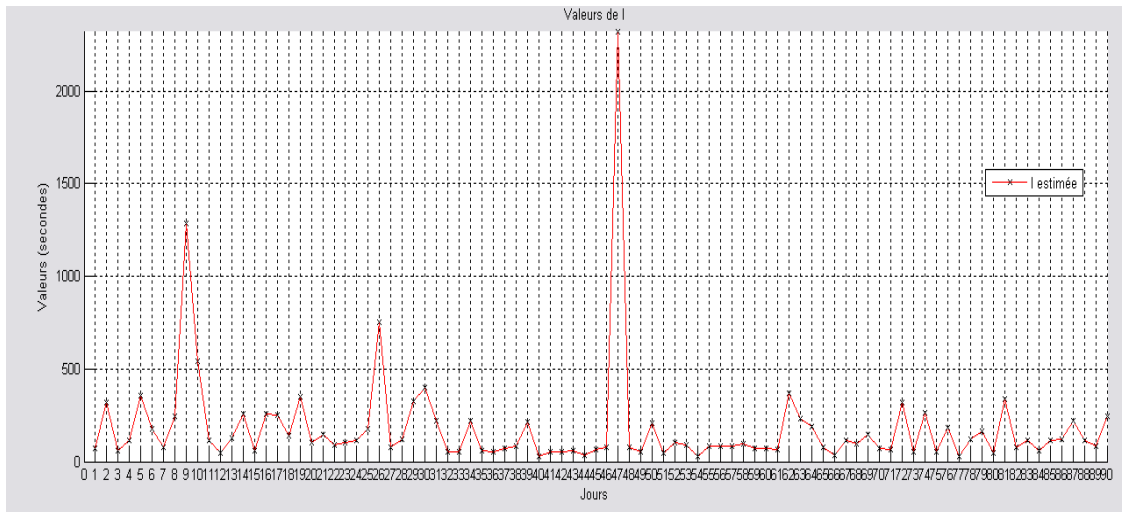


Figure 4-9 - Valeurs de I des 3 endroits pour les 90 jours étudiés

Les valeurs de I dans la Figure 4-9 montrent qu'il existe de longues périodes où l'occupant ne bouge pas dans la cuisine, devant le lavabo ou sous la douche. Cela peut provenir des capteurs qui ne sont pas assez sensibles, ou des incohérences de données qui ne sont pas encore corrigées complètement.

Les valeurs de N des 4 endroits : entrée, chambre, salon, et WC sont déterminées par une méthode itérative décrite au paragraphe 3.2. Elle est égale à 10 pour l'entrée et la chambre, et égale à 5 pour le salon et les WC. Ces valeurs de N des 4 endroits sont fixées pour l'ensemble des jours de 90 jours de données. Il n'existe pas de valeur de N pour la cuisine, la douche, et le lavabo.

Pour les données provenant du deuxième appartement de la plateforme AILISA (16 jours et 24 heures de données), nous utilisons les 16 jours de données du mois janvier 2007 comme données d'apprentissage pour déterminer les valeurs de I et N des 4 endroits : entrée, chambre, salon, et WC.

Les valeurs de I des 4 endroits : entrée, chambre, salon, et WC sont déterminées de la même façon que pour le premier appartement. Elles sont égales à 27s pour l'entrée, 21s pour la

chambre, 19s pour le salon et 15s pour les WC. Ces valeurs de I des 4 endroits sont fixées pour l'ensemble des jours de données du deuxième appartement (16 jours et 24 heures).

La valeur de I des 3 autres endroits : cuisine, douche, et lavabo, est estimée de la même façon que pour le premier appartement. La Figure 4-10 présente la valeur de I des 3 endroits, estimée et utilisée dans le traitement séquentiel des 16 jours et des 24 heures de données du deuxième appartement.

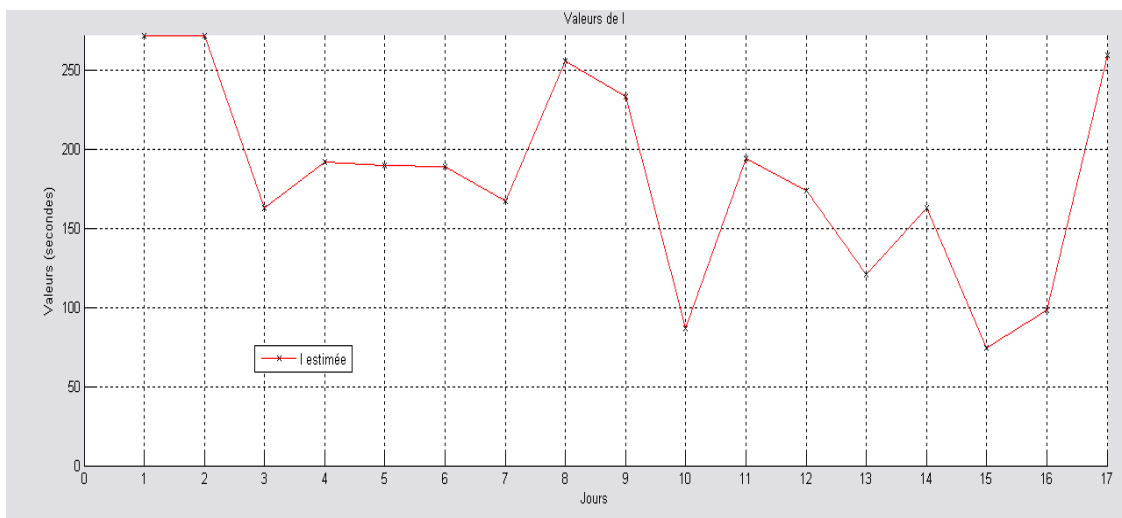


Figure 4-10 - Valeurs de I des 3 endroits pour les 16 jours et 24 heures étudiés

La valeur de N des 4 endroits : entrée, chambre, salon, et WC, qui est déterminée par la méthode itérative et fixée pour l'ensemble des jours de données du deuxième appartement, est égale à 10 pour l'entrée et la chambre, et égale à 5 pour le salon et les WC.

Après avoir déterminé les valeurs de I et N, nous passons au traitement des déclenchements des capteurs pour déterminer les états mobile-immobile de l'occupant dans les pièces. Les figures suivantes illustrent le processus de traitement séquentiel appliqué aux données d'une journée : le jour 81 (c'est le 13 août 2007 dans le premier appartement).

En partant de la courbe de déclenchements des capteurs (Figure 4-8), et après application des premières étapes du traitement séquentiel décrit au chapitre 3, on obtient les courbes des Figure 4-11 et Figure 4-12 représentant la durée entre 2 déclenchements successifs des capteurs et la durée des états immobiles en fonction du temps.

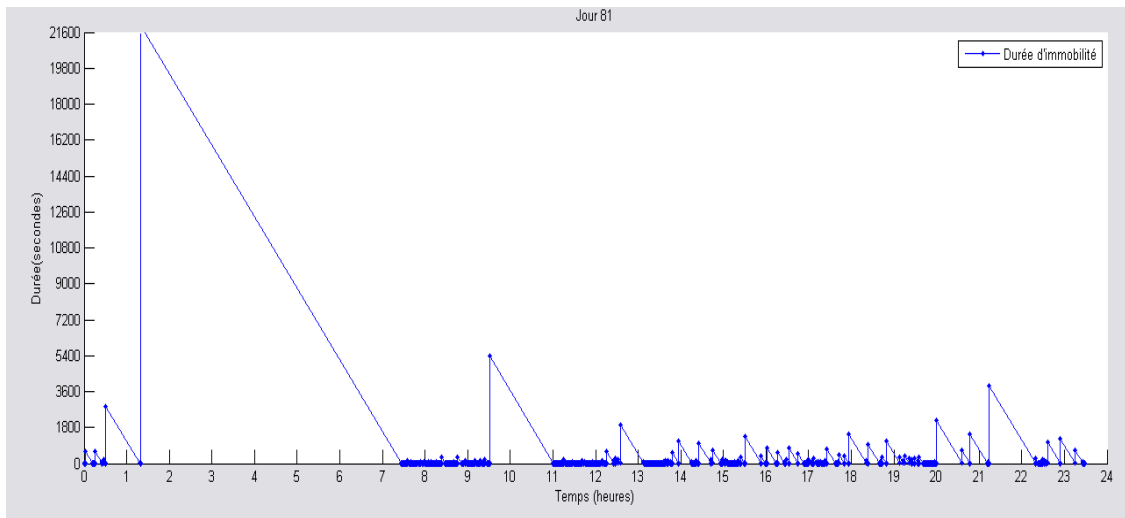


Figure 4-11 - Durée entre deux déclenchements consécutifs des capteurs

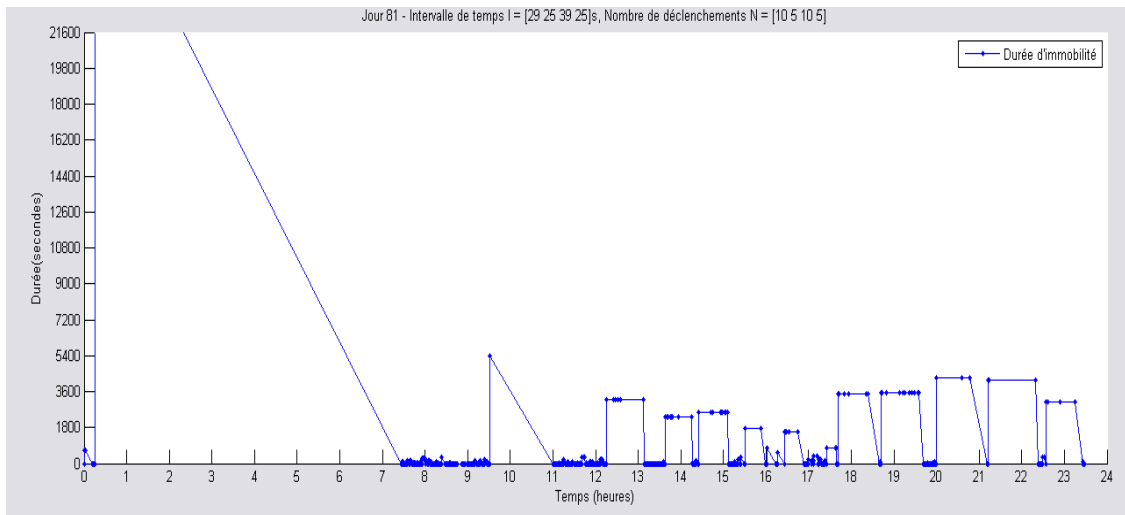
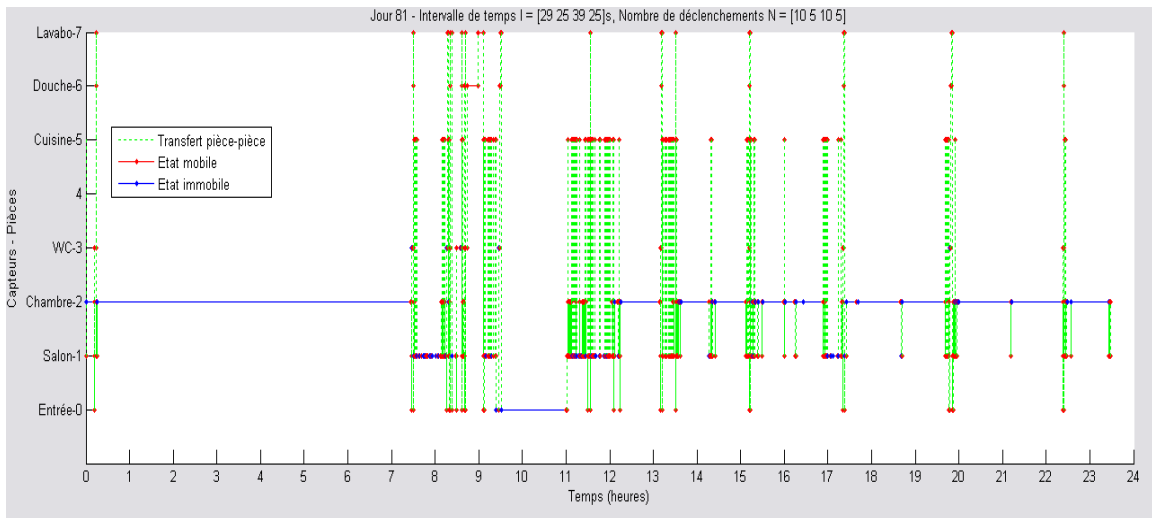


Figure 4-12 - Durée des états immobiles disjoints

En comparant ces courbes, on observe par exemple que les 2 grandes durées immobiles présentes sur la Figure 4-11 avant 7h30 du matin sont combinées en 1 seul état immobile sur la Figure 4-12 car elles sont séparées par moins de 10 déclenchements de capteurs.

La Figure 4-13 présente la courbe des états mobile-immobile et la séquence d'états mobile-immobile de toute la journée 81 obtenues après l'étape de traitement séquentiel.



5m1 m2m2l2m1 m0m3m6m7 m1 m2m1 m2m2l2m1 m0m3m3l3m6m7 m0m1 m1 l1 m2m1 m2m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m1 l1 m1 l1 m1 l1
 1m1 l1 m1 l1 m1 l1 m1 l1 m1 l1 m1 l1 m2m2l2m1 m5m1 m2m1 m2m1 m5m1 m2m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m0m3m3l3m7 m1 m5m1 m2m2l2m1 m5m
 1 m0m3m6m7 m0m3m6m7 m0m1 m1 l1 m0m3m3l3m3l3m6m7 m0m1 m5m1 m5m1 m5m1 m2m1 m2m1 m0m3m6m7 m0m3m6m7 m1 m5m1 m0m1 m5m1 m5m1 m
 5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m5m1 m5m1 m
 5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m0m0l0m3m3l3m6m7 m0m0l0m1 m5m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m5m1 m5m1 m
 5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m2m1 m2m1 m5m1 m1 l1 m1 l1 m5m1 m5m1 m2m1 m1 l1 m1 l1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m
 5m1 m5m1 m2m1 m2m1 m5m1 m2m1 m1 l1 m0m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m0m7 m0m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m
 5m1 m5m1 m1 l1 m5m1 m1 l1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m5m1 m1 l1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m5m1 m5m1 m5m1 m
 5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m2m1 m5m1 m5m1 m0m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m2l2m1 m1 l1 m2m1 m5m1 m5m1 m2m1 m0m1 m2m2l2m1 m0m3m6m7 m
 0m1 m5m1
 5m1 m5m1 m2m1 m2m1 m5m1 m0m7 m0m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m2m1 m5m1 m2m1 m2m1 m2m1 m1 l1 m2m2l2m1 m2m1 m2m2l2m1 m1 l1 m5m1 m2m1 m
 5m1 m5m1 m5m1 m2m1 m2m2l2m1 m2m2l2m1 m2m2l2m1 m2m1 m2m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m0m3m6m7 m0m1 m2m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m2m2l2m1 m2m1 m
 1 l1 m2m5m1 m5m1 m2m2l2m1 m2m2l2m1 m2m2l2m1 m2m2l2m1 m5m1 m2m2l2m1 m2m2l2m1 m2m1 m5m1 m2m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m
 1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m1 l1 m1 l1 m1 l1 m5m1 m5m1 m1 l1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1 m2m1 m2m1 m0m3m6m7 m0m1 m1 l1 m2m
 2l2m1 m1 l1 m2m2l2m1 m2m1 m5m1
 1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m1 m2m5m1 m2m2l2m1 m2m2l2m1 m2m1 m2m2l2m1 m2m0m3m6m7 m0m1 m2m1 m5m1 m5m1 m5m1 m5m1
 1 m5m1 m5m1 m5m1 m2m1 m2m2l2m1 m2m2l2m1 m2m1 m2m2l2m1 m2m1 m2m

Figure 4-13 - Courbe des états mobile-immobile et séquence d'états mobile-immobile obtenues

Dans la séquence d'états mobile-immobile, un état correspond à un chiffre, représentant le capteur concerné, et à une lettre représentant l'état de l'occupant (mobile ou immobile).

Le Tableau 4-3 présente le nombre de déclenchements des capteurs pour chaque jour et le nombre d'états de la séquence d'états obtenue pour les 90 jours de données du premier appartement.

Tableau 4-3 - Nombre de déclenchements des capteurs et nombre d'états pour les 90 jours

Jour	Déclenchements	Etats	Jour	Déclenchements	Etats	Jour	Déclenchements	Etats
1	4927	582	31	6491	876	61	6692	839
2	7199	823	32	5989	738	62	6052	785
3	5585	728	33	5905	695	63	6399	812
4	3746	516	34	5457	641	64	6212	794
5	5573	792	35	5180	701	65	6655	904

6	6951	1062	36	4176	535	66	6163	853
7	10940	1645	37	4220	520	67	4753	595
8	4045	546	38	9770	1120	68	6478	906
9	5291	738	39	4353	545	69	6190	797
10	4938	660	40	6797	808	70	5162	743
11	5304	746	41	6577	759	71	8445	1137
12	4361	640	42	6926	902	72	11618	1612
13	4990	600	43	6162	706	73	6344	908
14	6182	856	44	5462	663	74	9436	1310
15	6340	820	45	7553	880	75	5980	849
16	7036	913	46	6949	880	76	4764	575
17	4761	739	47	5356	718	77	4865	722
18	4678	677	48	7141	817	78	6154	846
19	5770	703	49	7097	913	79	6345	832
20	11377	1741	50	4985	567	80	6952	877
21	4870	680	51	6992	776	81	6567	826
22	5519	746	52	6004	723	82	5430	702
23	6675	968	53	5754	781	83	6697	718
24	4683	608	54	5452	738	84	6796	868
25	8418	1284	55	4851	590	85	5518	779
26	4031	574	56	6903	933	86	5718	714
27	7366	934	57	7334	1022	87	6125	781
28	5478	729	58	5994	814	88	7156	887
29	4179	596	59	7220	950	89	5460	695
30	6078	887	60	6356	884	90	8061	1039

Pour les 90 jours de données, le nombre de déclenchements des capteurs après l'étape de correction est en moyenne de 6 199, au minimum de 3 746, et au maximum de 11 618 ; le nombre d'états dans la séquence d'états obtenue est en moyenne de 816 états, au minimum de 516 états, et au maximum de 1 741 états.

Le Tableau 4-4 présente le nombre de déclenchements des capteurs pour chaque jour et le nombre d'états de la séquence d'états obtenue pour les 16 jours de données du deuxième appartement.

Tableau 4-4 - Nombre de déclenchements des capteurs et nombre d'états pour les 16 jours

Jour	Déclenchements	Etats	Jour	Déclenchements	Etats
1	9543	977	9	9693	1136
2	8980	1079	10	9800	1034
3	7463	880	11	6063	586
4	9636	944	12	7184	731

5	6289	679	13	10302	922
6	8344	920	14	8462	734
7	7146	668	15	8984	796
8	9042	971	16	4704	492

Pour les 16 jours de données, le nombre de déclenchements des capteurs après l'étape de correction est en moyenne de 8 227, au minimum de 4 704, et au maximum de 10 302 ; le nombre d'états dans la séquence d'états obtenue est en moyenne de 847 états, au minimum de 492 états, et au maximum de 1 136 états.

Pour chaque jour de données, la durée d'exécution du programme est d'environ 15s afin de transformer les déclenchements des capteurs en une séquence d'états mobile-immobile et d'afficher la courbe des états mobile-immobile.

4.3 Etape de reconnaissance d'activités

Pour évaluer la méthode de reconnaissance, nous nous basons sur l'efficacité de la méthode, c'est-à-dire la capacité de la méthode à prendre une bonne décision de reconnaissance. L'efficacité de reconnaissance est mesurée par 2 notions classiques du domaine de la recherche d'information (information retrieval - IR) : la précision (π) et la sensibilité (ρ) [Sebastiani, 2002].

La précision (π_i) de la reconnaissance d'une activité A_i est définie comme « la probabilité que si une activité inconnue est reconnue comme l'activité A_i , cette reconnaissance est correcte ».

La sensibilité (ρ_i) de la reconnaissance d'une activité A_i est définie comme « la probabilité que si une activité inconnue doit être reconnue comme l'activité A_i , elle est effectivement reconnue ».

Les 2 probabilités peuvent être estimées par le tableau de contingence de l'activité A_i (voir Tableau 4-5) sur un ensemble de données de test.

Tableau 4-5 - Tableau de contingence de l'activité A_i

Activité A_i		Confirmation de l'occupant ou jugement d'expert	
		OUI	NON
Jugements du système	OUI	VP_i	FP_i
	NON	FN_i	VN_i

Quand le système a correctement détecté une activité qui s'est produite (bonne activité et au bon moment), la détection est considérée comme un « vrai positif » (VP). La détection d'une activité qui n'a pas eu lieu, ou la détection d'une activité comme une autre, ou la détection d'une bonne activité mais au mauvais moment sont toutes considérées comme un « faux positif » (FP). Si une activité s'est produite et que le système ne la détecte pas, on obtient un « faux négatif » (FN). S'il n'y a aucune activité et aucune détection, on obtient un « vrai négatif » (VN).

L'estimation de la précision (π_i) et de la sensibilité (ρ_i), de la reconnaissance d'une activité A_i , sont obtenues par les formules :

$$\pi_i = \frac{VP_i}{VP_i + FP_i}, \rho_i = \frac{VP_i}{VP_i + FN_i}$$

Pour le premier appartement de la plateforme AILISA, l'ensemble des données de test est de 90 jours. Nous ne disposons d'aucune confirmation de l'occupant sur ses activités. Pour le deuxième appartement de la plateforme AILISA, l'ensemble des données de test est de 16 jours et 24 heures, dont 16 jours sans confirmation de l'occupant sur ses activités et 24 heures sur 2 jours (de 17h30 le 11 Sept 2008 à 17h30 le 12 Sept 2008) avec la confirmation de l'occupant sous la forme d'un journal d'activités tenu par l'occupant.

Lorsque nous n'avons pas de confirmation de la part de l'occupant sur les activités qu'il a réalisées, nous pouvons reconnaître certaines activités (lever, coucher, sortie, petit-déjeuner) en analysant directement les courbes de déclenchements des capteurs. Nous considérons donc que nous disposons d'un jugement d'expert pour ces activités.

Nous appliquons la méthode de reconnaissance sur les 90 jours de données du premier appartement. La Figure 4-14 illustre la séquence des activités reconnues pour ces 90 jours.

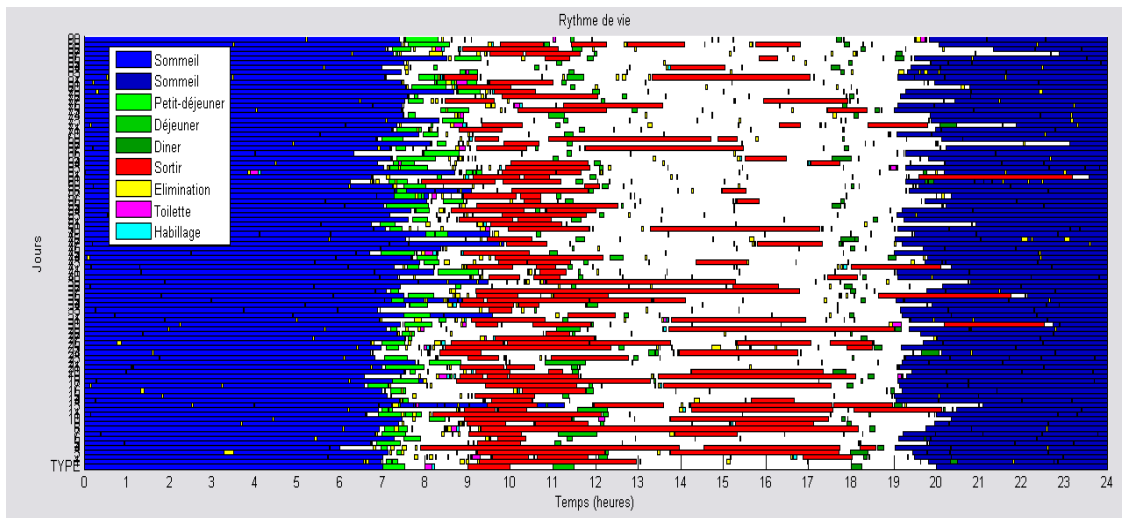


Figure 4-14 - Séquence des activités reconnues sur 90 jours

Pour évaluer VP, FP, FN et VN de la reconnaissance des activités dans ces 90 jours, nous choisissons d'évaluer 4 activités : lever, petit-déjeuner, sortir et coucher parce qu'elles se produisent en général une fois par jour et que nous avons un jugement d'expert pour les 4 activités. Le résultat de l'évaluation de la reconnaissance de ces 4 activités est présenté dans le Tableau 4-6.

Tableau 4-6 – Résultat de l'évaluation de la reconnaissance des 4 activités (pour les 90 jours)

Jours	Lever	Petit-déjeuner	Sortir	Coucher	Jours	Lever	Petit-déjeuner	Sortir	Coucher
1	VP	VP	VP	FP	46	VP	FP	VN	VP
2	VP	FP	VP	VP	47	FP	VP	VP	VP
3	VP	VP	VP	VP	48	VP	VP	VP	FP
4	VP	FP	VP	VP	49	FP	FP	VP	VP
5	VP	VP	VP	VP	50	VP	VP	VP	VP
6	VP	VP	VP	VP	51	VP	VP	VP	VP
7	VP	VP	VP	VP	52	VP	VP	VP	VP
8	VP	FP	VP	VP	53	VP	FP	VP	FP
9	VP	FP	VP	FP	54	VP	VP	VP	VP
10	VP	FP	VP	VP	55	VP	VP	VP	VP
11	FP	VP	VP	VP	56	VP	FP	VP	VP
12	VP	VP	VP	FP	57	FP	VP	VP	FP
13	FP	FP	VP	VP	58	FP	VP	VP	VP
14	VP	VP	VP	VP	59	VP	VP	VP	VP
15	VP	FP	VP	FP	60	VP	FP	VP	FP
16	VP	VP	VP	FP	61	VP	FP	VP	VP
17	VP	VP	VP	VP	62	VP	FP	VP	VP

18	FP	VP	VP	VP	63	VP	VP	VP	VP
19	VP	FP	VP	VP	64	VP	VP	VP	VP
20	VP	VP	VP	VP	65	VP	VP	VP	FP
21	VP	VP	VP	VP	66	FP	VP	VN	VP
22	VP	VP	VN	VP	67	VP	VP	VP	VP
23	VP	VP	VP	FP	68	VP	VP	VP	VP
24	VP	FP	VP	VP	69	VP	VP	VP	VP
25	VP	VP	VP	VP	70	VP	VP	VN	VP
26	VP	VP	VP	FP	71	VP	VP	VP	VP
27	VP	FP	VP	VP	72	VP	FP	VP	VP
28	VP	VP	VP	VP	73	VP	VP	VN	VP
29	VP	VP	VP	VP	74	VP	VP	VN	VP
30	VP	VP	VP	VP	75	VP	FP	VP	FP
31	VP	FP	VP	VP	76	VP	VP	VP	FP
32	FP	VP	VP	VP	77	VP	VP	VP	VP
33	VP	VP	VP	VP	78	VP	VP	VP	FP
34	VP	VP	VP	VP	79	VP	VP	VP	FP
35	FP	VP	VP	VP	80	VP	VP	VP	VP
36	VP	VP	VP	VP	81	VP	FP	VP	VP
37	VP	VP	VP	FP	82	VP	FP	VP	FP
38	VP	FP	VP	VP	83	VP	FP	VN	FP
39	FP	VP	VP	VP	84	VP	FP	VP	FP
40	VP	VP	VP	VP	85	VP	FP	VN	FP
41	VP	VP	VP	VP	86	VP	VP	VP	VP
42	VP	VP	VP	VP	87	VP	VP	VP	VP
43	VP	VP	VP	FP	88	VP	VP	VP	VP
44	VP	VP	VP	FP	89	VP	VP	VP	VP
45	VP	VP	VP	VP	90	VP	VP	VN	VP

VP : détection de la bonne activité et au bon moment ; FP : détection de la bonne activité mais au mauvais moment ; FN : absence de détection d'une activité réalisée ; VN : pas d'activité et pas de détection.

Le nombre de fois où VP, FP, FN, VN apparaissent dans le Tableau 4-6 pour les 4 activités, sur les 90 jours, sont présentés dans le Tableau 4-7.

Tableau 4-7 – Précision et Sensibilité de la reconnaissance des 4 activités pour les 90 jours

Activités	VP	FP	FN	VN	Précision	Sensibilité
Lever	79	11	0	0	0.8778	1
Petit-déjeuner	64	26	0	0	0.7111	1
Sortir	81	0	0	9	1	1
Coucher	67	23	0	0	0.7444	1

Nous constatons que la sensibilité de la méthode de reconnaissance sur les 4 activités est haute et est égale à 100%. La précision de la méthode est différente sur les 4 activités. Elle est environ 88% pour le lever, 74% pour le coucher, 71% pour le petit-déjeuner et 100% pour la sortie. Nous trouvons que la méthode de reconnaissance fonctionne assez bien sur les 4 activités et sur les données provenant du premier appartement.

Nous présentons ci-après les résultats statistiques sur les activités trouvées par la méthode de reconnaissance (incluant des bonnes et mauvaises détections), pour les 90 jours de données :

- Parmi les 90 jours de données, le nombre de jours où l'activité de « lever » est trouvée, est de 90 jours (soit 100% des jours). L'heure moyenne à laquelle l'activité de « lever » est trouvée, est 07:28:52. Elle a été trouvée au plus tôt à 06:00:20 et au plus tard à 11:16:12.
- Parmi les 90 jours de données, le nombre de jours où l'activité de « coucher » est trouvée, est de 90 jours (soit 100% des jours). L'heure moyenne à laquelle l'activité de « coucher » est trouvée, est 19:50:20. Elle a été trouvée au plus tôt à 19:00:05 et au plus tard à 23:34:05.
- Parmi les 90 jours de données, le nombre de jours où l'activité de prise du « petit-déjeuner » est trouvée, est de 90 jours (soit 100% des jours). L'heure moyenne à laquelle l'activité de prise du « petit-déjeuner » est trouvée, est 07:39:54. Elle a été trouvée au plus tôt à 06:39:25 et au plus tard à 09:27:44. La durée de la prise du « petit-déjeuner » est en moyenne de 22min47s, au minimum de 16s, et au maximum de 59min33s.
- Parmi les 90 jours de données, le nombre de jours où l'activité de prise du « déjeuner » est trouvée, est de 83 jours (soit 92% des jours). L'heure moyenne à laquelle l'activité de prise du « déjeuner » est trouvée, est 11:36:06. Elle a été trouvée au plus tôt à 10:33:48 et au plus tard à 13:22:16. La durée de la prise du « déjeuner » est en moyenne de 8min54s, au minimum de 33s, et au maximum de 57min24s.
- Parmi les 90 jours de données, le nombre de jours où l'activité de prise du « dîner » est trouvée, est de 79 jours (soit 88% des jours). L'heure moyenne à laquelle l'activité de prise du « dîner » est trouvée, est 18:22:36. Elle a été trouvée au plus tôt à 17:31:15 et au

plus tard à 20:19:14. La durée de la prise du « dîner » est en moyenne de 6min5s, au minimum de 16s, et au maximum de 26min11s.

- Parmi les 90 jours de données, le nombre de jours où l'activité de « sortir » est trouvée, est de 80 jours (soit 89% des jours). Le nombre de sorties par jour est en moyenne 1.7 fois, au minimum 0 fois, et au maximum 5 fois. La durée quotidienne de sortie par jour est en moyenne 3h11min50s, au minimum de 20min26s, et au maximum de 9h37min44s. L'heure des sorties est en moyenne à 11:29:58, au minimum à 7:53:18, et au maximum à 20:10:33.
- Parmi les 90 jours de données, le nombre de jours où l'activité d'« aller aux toilettes » est trouvée, est de 90 jours (soit 100% des jours). Le nombre d'« aller aux toilettes » par jour est en moyenne 10.3 fois, au minimum 6 fois, et au maximum 17 fois.
- Parmi les 90 jours de données, le nombre de jours où l'activité de « prise d'une douche » est trouvée, est de 25 jours (soit 28% des jours). Le nombre de douches prises par jour est en moyenne 0.3 fois, au minimum 0 fois, et au maximum 2 fois.
- Parmi les 90 jours de données, le nombre de jours où l'activité d'« habillage » est trouvée, est de 50 jours (soit 56% des jours). Le nombre d'habillages par jour est en moyenne 0.8 fois, au minimum 0 fois, et au maximum 3 fois.

Notons que les données dont nous disposons correspondent à la vie réelle d'un occupant et non à un scénario connu à l'avance. La personne n'a pas forcément les mêmes activités tous les jours, puisqu'elle peut par exemple déjeuner ou dîner hors de chez elle, prendre ou non une ou plusieurs douches dans la journée, etc. Si la méthode ne détecte pas une AVQ particulière dans une journée, cela ne veut pas forcément dire qu'elle a été mise en défaut puisqu'il est possible que cette AVQ n'ait pas été réalisée. Pour évaluer correctement notre méthode, nous avons besoin de la confirmation de l'occupant.

Parmi les 90 jours de données du premier appartement, nous observons que la séquence d'activités reconnues au jour 88 est très proche de la séquence d'activités type, construite à partir des informations du questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant (voir Figure 4-15).

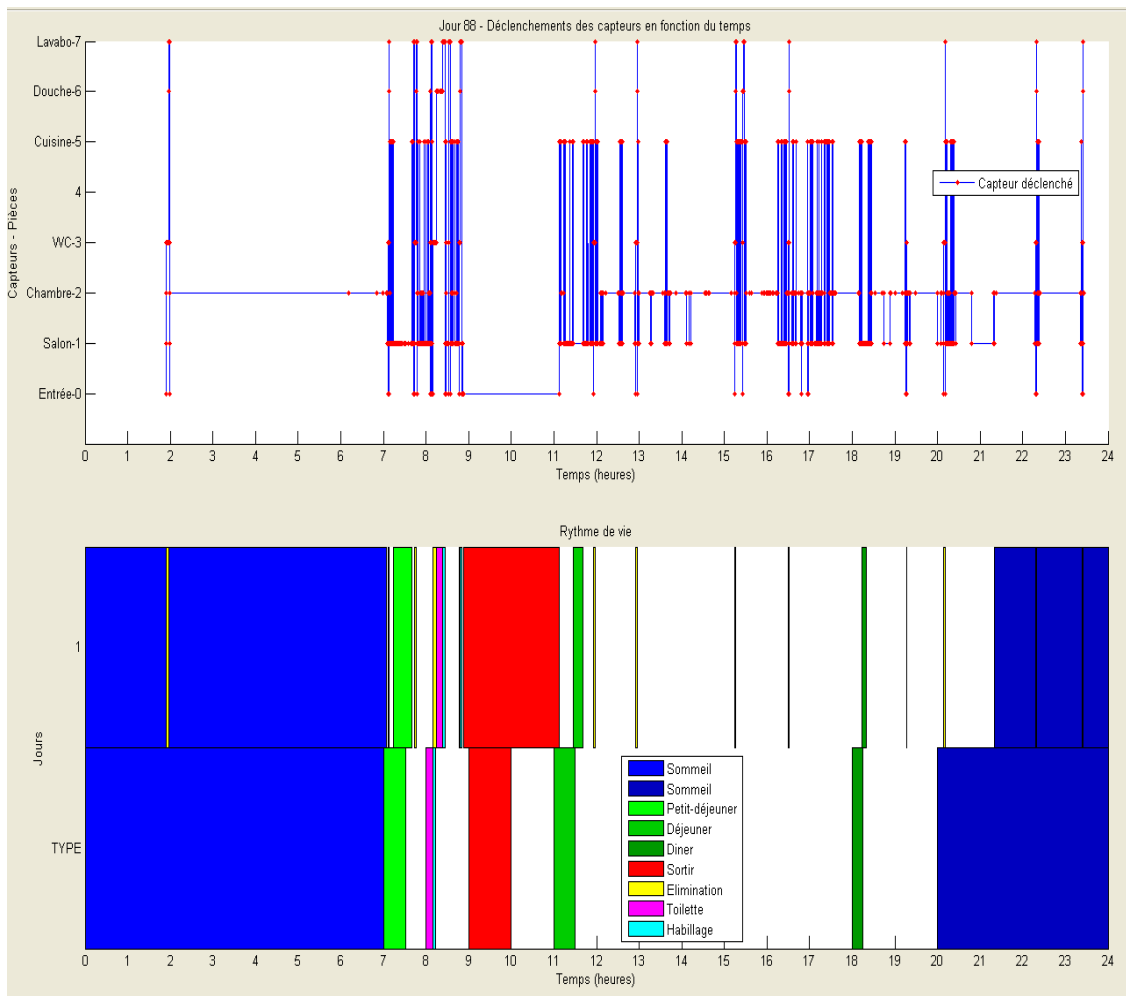


Figure 4-15 - Séquence d'activités reconnues au jour 88 et séquence d'activités type

Nous trouvons que les règles de reconnaissance fonctionnent bien pour ce jour.

Nous appliquons la méthode de reconnaissance sur les 16 jours et 24 heures de données du deuxième appartement. La Figure 4-16 illustre la séquence des activités reconnues pour ces 16 jours et 24 heures (les 24 heures de données commencent le jour 17 vers 17h30 et se termine le jour 18 vers 17h30).

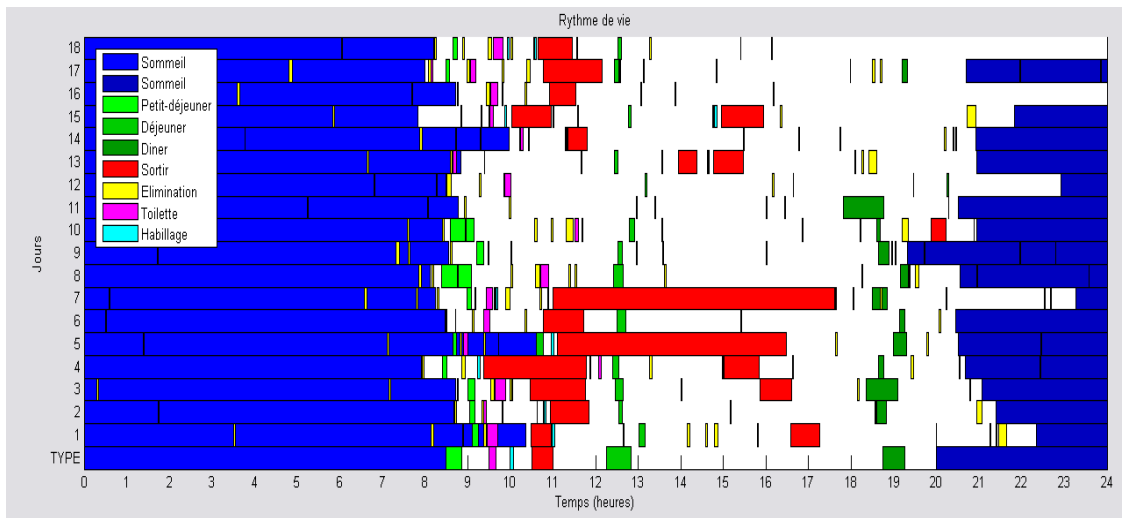


Figure 4-16 - Séquence des activités reconnues sur 16 jours et 24 heures

Pour les 16 jours de données, nous n'avons pas la confirmation de l'occupant sur ses activités. Nous utilisons la même méthode d'évaluation des 4 activités que pour les 90 jours. Le résultat de l'évaluation de la reconnaissance des 4 activités pour les 16 jours est présenté dans le Tableau 4-8.

Tableau 4-8 - Résultat de l'évaluation de la reconnaissance des 4 activités (pour les 16 jours)

Jours	Lever	Petit-déjeuner	Sortir	Coucher
1	FP	VP	VP	VP
2	VP	VP	VP	VP
3	VP	VP	VP	VP
4	VP	VP	VP	VP
5	FP	VP	VP	VP
6	VP	VP	VP	VP
7	VP	FP	VP	VP
8	VP	VP	VN	VP
9	VP	VP	VN	FP
10	VP	VP	VP	VP
11	VP	VN	VN	VP
12	VP	VN	VN	VP
13	FP	VN	VP	VP
14	FP	VN	VP	VP
15	VP	VN	VP	VP
16	VP	VN	VP	VN

Les valeurs VP, FP, FN, VN de reconnaissance des 4 activités pour les 16 jours sont présentées dans le Tableau 4-9.

Tableau 4-9 – Précision et Sensibilité de la reconnaissance des 4 activités pour les 16 jours

Activités	VP	FP	FN	VN	Précision	Sensibilité
Lever	12	4	0	0	0.75	1
Petit-déjeuner	9	1	0	6	0.9	1
Sortir	12	0	0	4	1	1
Coucher	14	1	0	1	0.93	1

La sensibilité de la méthode de reconnaissance sur les 4 activités est égale à 100%. La précision de la méthode est différente sur les 4 activités. Elle est environ 75% pour le lever, 93% pour le coucher, 90% pour le petit-déjeuner et 100% pour la sortie. Nous trouvons que la méthode de reconnaissance fonctionne assez bien sur les 4 activités.

Pour les 24h de données du mois Septembre 2008, nous comparons la liste des activités reconnues par le programme à la liste fournie par l'occupant dans un journal d'activités (voir annexe A.3). L'évaluation de la reconnaissance des activités des 24h de données est présentée dans le Tableau 4-10.

Tableau 4-10 - Précision et Sensibilité de la reconnaissance des activités pour les 24h de données

Activités	VP	FP	FN	Précision	Sensibilité
Lever	1	0	0	1	1
Coucher	0	1	1	0	0
Petit-déjeuner	1	0	0	1	1
Déjeuner	1	0	0	1	1
Dîner	1	0	0	1	1
Sortir	1	0	0	1	1
Toilette	2	2	0	0.5	1
Habillage	3	1	1	0.75	0.75
Aller aux toilettes	7	6	1	0.54	0.88

Nous avons quelques explications sur le résultat obtenu, en confrontant les courbes de déclenchement des capteurs et le journal d'activités :

- L'occurrence de l'activité « coucher », que le programme garde et considère comme le 'vrai' coucher, correspond à l'activité « aller au lit pour lire » de l'occupant. L'occurrence du 'vrai' coucher qui s'est produite plus tard, était négligée par le programme. On a alors un « faux positif » et un « faux négatif ».
- L'habillage, qui est non détecté par le programme, correspond au changement de la chemise de nuit de l'occupant avant le coucher. Cet habillage se produit dans le salon où le programme n'a pas encore de règles pour le reconnaître.
- Dans ces 24h, l'occupant a pris une douche et a aussi fait sa toilette devant le lavabo.
- Dans ces 24h, l'occupant a fait une activité particulière : « enlever la poussière dans la salle de bain », qui cause de nombreux déclenchements des capteurs dans la salle de bain. C'est la raison pour laquelle le programme détecte des « faux positif » de l'activité « aller aux toilettes » et de l'activité « faire la toilette ».
- L'activité « aller aux toilettes », qui est non détectée par le programme, a une durée de 11s, ce qui est inférieur au seuil de 30s du programme.

Grâce aux résultats obtenus, nous trouvons que la méthode de reconnaissance d'activités fonctionne aussi bien sur les données provenant du deuxième appartement et elle permet de bien reconnaître également les activités qui n'avaient pas pu être évaluées pour le premier appartement.

Pour positionner notre méthode par rapport aux autres études trouvées dans la littérature, nous classifions ces dernières en deux groupes : les études utilisant le même type de capteur que le nôtre (capteur infrarouge passif) et les études traitant le même objectif que le nôtre (reconnaître des AVQ et évaluer l'état d'autonomie).

Dans la littérature, la plupart des études qui traitent les données issues de capteurs infrarouges passifs, visent à détecter des situations anormales de l'occupant au lieu de reconnaître des AVQ ou d'évaluer l'état d'autonomie de l'occupant (voir l'état de l'art au paragraphe 1.3.4). Pour les études qui sont proches de notre objectif, il existe l'étude de Wilson [Wilson, 2005] et celle de Glascock et Kutzik [Glascock et Kutzik, 2006; 2007] qui visent à reconnaître la réalisation des AVQ et à transmettre cette information aux référents. Dans son étude, Wilson utilise le modèle de

Markov caché pour reconnaître des AVQ, mais il ne détaille ni le modèle de Markov caché de chaque AVQ et ni le processus d'apprentissage. Le résultat présenté est une validation de sa méthode sur des scénarii supervisés réalisés dans une plateforme expérimentale avec des volontaires. Cette validation ne montre pas encore la possibilité d'appliquer cette méthode dans les conditions réelles. Dans leur étude, Glascock et Kutzik proposent des règles pour reconnaître des AVQ. Leur système est breveté et commercialisé. Ils ne détaillent ni ne discutent de leur méthode de traitement, nous ne pouvons donc pas la comparer avec notre méthode.

Quant aux études qui visent à reconnaître des AVQ pour évaluer la perte d'autonomie de la personne âgée, il existe le travail de Barralon [Barralon, 2005] et celui de Fleury [Fleury, 2008]. Dans son étude, Barralon fusionne des données provenant d'un actimomètre, porté par la personne, et des capteurs infrarouges passifs, pour classifier quatre des six AVQ définies par Katz : habillage, alimentation, transfert, aller aux toilettes. La méthode a été validée sur des scénarii supervisés. Fleury poursuit cette étude en fusionnant des données provenant d'un actimomètre porté par la personne, des capteurs infrarouges passifs, des contacts magnétiques, des microphones et d'un capteur environnemental (température et hygrométrie) pour classifier cinq des six AVQ définies par Katz : habillage, alimentation, transfert, aller aux toilettes, faire la toilette et l'activité de communication (grille AGGIR). La méthode a aussi été validée sur des scénarii supervisés. Grâce à une installation multi-capteurs, le type d'HIS utilisé dans ces études fournit une information riche et multiforme sur l'activité réalisée par l'occupant. C'est un réel avantage dans l'étape de classification des activités, mais ce type d'HIS risque d'être plus difficile à accepter pour des personnes autonomes car il est plus contraignant. En effet, dans le cas de personnes âgées dépendantes ou de patients en hospitalisation à domicile, on peut envisager de leur faire porter un capteur ou d'équiper leur habitat de microphones afin d'assurer leur sécurité. Pour les personnes âgées encore autonomes, vivant seules à leur domicile, mais dans une tranche d'âge où le risque de perte d'autonomie est élevé (de 75 à 79 ans [Cambois et al., 2003]), il est plus délicat de leur faire porter des capteurs ou d'installer dans leur habitat des types de capteurs qui peuvent porter atteinte à leur intimité. De plus, la période de suivi est vraiment longue (quelques dizaines d'années, par exemple). Dans ce cas, un système de suivi le plus simple possible, constitué uniquement de capteurs infrarouges passifs par exemple, a plus de chances d'être accepté par les personnes âgées.

Conclusion

Ce travail de thèse propose un processus de traitement des données provenant de capteurs infrarouges passifs, qui détectent et enregistrent les mouvements d'une personne âgée vivant seule dans un habitat. Il a pour objectif de reconnaître des activités de la vie quotidienne (ou AVQ) réalisées par la personne âgée dans une journée, et d'évaluer leur régularité. C'est une première étape dans le développement d'un outil capable de suivre et d'évaluer automatiquement la dépendance de la personne âgée.

Dans ce mémoire, nous avons traité les points suivants :

- Elaboration de règles pour corriger des incohérences dans l'enchaînement des déclenchements des capteurs ;
- Proposition d'une méthode de traitement séquentiel pour mettre la liste des déclenchements des capteurs sous la forme de données « reconnaissables » : des séquences d'états mobile-immobile ;
- Développement d'une méthode de reconnaissance d'activités utilisant des règles pertinentes qui se construisent à partir des habitudes de vie de l'occupant et de ses déplacements quand il réalise ses activités quotidiennes ;
- Proposition d'utilisation de l'analyse des tendances : sur les horaires de réalisation de certaines activités « clés », ou sur des notations portant sur l'ensemble des activités (obtenues suivant 2 méthodes différentes) afin d'évaluer l'évolution de l'autonomie de l'occupant.

Nous avons implémenté ce processus de traitement dans un programme développé sous Matlab. Il permet de transformer les données « brutes » issues des capteurs en séquences d'activités réalisées dans la journée et en un score de réalisation. Nous avons appliqué ce processus de traitements sur les données provenant des deux appartements de la plateforme grenobloise du

projet AILISA. Le résultat de la reconnaissance des AVQ réalisées par l'occupant est satisfaisant. Même si, dans quelques cas, la présence de contacts magnétiques permettrait de simplifier la reconnaissance de certaines activités, on peut conclure que le système de capteurs infrarouges passifs peut permettre de reconnaître des AVQ définies par Katz qui sont utiles pour évaluer l'autonomie de la personne âgée.

Nous avons identifié les limites suivantes à notre travail :

- Dans le processus de traitement, la détermination des paramètres I et N reste encore expérimentale ;
- La définition des séquences particulières représentant les AVQ et la quantification des règles pertinentes dépendent des habitudes de vie de l'occupant. Ces habitudes peuvent être obtenues à partir du questionnaire que nous avons élaboré. Il faudrait cependant vérifier que les règles de reconnaissance que nous avons proposées restent valables pour d'autres cas d'étude que ceux que nous avons traités ;
- Dans l'étape d'évaluation de l'autonomie, la tendance de certaines activités « clés », et la tendance du pourcentage ou du score de réalisation des AVQ, qui peuvent représenter une perte d'autonomie de l'occupant, ne sont pas encore clairement identifiées, puisque les données traitées sont enregistrées dans la période où l'occupant est encore autonome.

Dans l'avenir, en disposant des données issues des capteurs et de la confirmation de l'occupant sur ses déplacements dans l'habitat sur une certaine période de temps, nous pouvons espérer trouver une façon pour déterminer I et N automatiquement. Les données issues des capteurs, couplées avec la confirmation de l'occupant sur les activités réalisées sur une longue période (quelques mois par exemple) nous semblent indispensables pour que nous puissions améliorer les règles de reconnaissance. De plus, l'application de la méthode de reconnaissance sur plusieurs cas d'étude nous permettrait de faire évoluer les règles de reconnaissance et de définir une base de règles générales. Enfin, une collaboration avec des médecins nous permettrait d'avoir une meilleure connaissance des signes caractéristiques d'une perte d'autonomie. On pourrait alors envisager d'élaborer des scénarii permettant de simuler une perte d'autonomie. Cette collaboration nous permettrait également d'améliorer nos barèmes de notation.

Pour finir, le développement d'un outil, qui serait capable de suivre, d'évaluer automatiquement l'autonomie de la personne âgée et de signaler sa perte d'autonomie nous semble intéressant. Cet outil utilise des capteurs infrarouges passifs afin d'enregistrer les mouvements de l'occupant dans l'habitat et applique notre processus de traitement pour traiter les données enregistrées et évaluer l'autonomie de l'occupant. On pourrait ensuite envisager de collaborer avec des référents¹⁵ pour valider l'efficacité de cet outil. Dans le cas d'une validation positive, le développement d'une solution technique pour connecter cet outil au bureau d'un référent pourra être envisagé.

¹⁵ Référent : personnes chargées d'évaluer l'autonomie des personnes âgées et de coordonner les aides.

Annexe A

Questionnaires

A.1 Questionnaire sur le travail des référents APA

Questionnaire

Partie 1 :

A. Informations sur votre travail

1/ Quelle est votre fonction ? _____

2/ Quel est le but principal de votre travail ? _____

3/ Depuis combien de temps exercez-vous cette activité ? _____

4/ Quels sont les diplômes nécessaires à ce type de travail ? _____

5/ De combien de clients vous occupez-vous en moyenne ? _____

6/ Combien de visites chez vos clients faites-vous en moyenne ? ___ par [jour] [semaine] [mois]¹⁶

B. Informations sur vos clients

1/ Quelle est la tranche d'âge de vos clients ? _____

2/ Quel est l'âge moyen de vos clients ? _____

3/ Pouvez-vous indiquer combien de vos clients ont :

¹⁶ Cochez la case correspondant à votre réponse.

- Moins de 65 ans : _____
- Entre 65 et 70 ans : _____
- Entre 70 et 75 ans : _____
- Entre 75 et 80 ans : _____
- Entre 80 et 85 ans : _____
- Entre 85 et 90 ans : _____
- Plus de 90 ans : _____

4/ Quelle est la fréquence des problèmes suivants parmi vos clients ? ¹

Cécité	[Très fréquent] [Assez fréquent] [Peu fréquent] [Ne sais pas]
Surdité	[Très fréquent] [Assez fréquent] [Peu fréquent] [Ne sais pas]
Mutisme	[Très fréquent] [Assez fréquent] [Peu fréquent] [Ne sais pas]
Démence douce	[Très fréquent] [Assez fréquent] [Peu fréquent] [Ne sais pas]
Démence modérée	[Très fréquent] [Assez fréquent] [Peu fréquent] [Ne sais pas]
Démence grave	[Très fréquent] [Assez fréquent] [Peu fréquent] [Ne sais pas]
Incontinence	[Très fréquent] [Assez fréquent] [Peu fréquent] [Ne sais pas]
Insuffisance alimentaire	[Très fréquent] [Assez fréquent] [Peu fréquent] [Ne sais pas]
Déshydratation	[Très fréquent] [Assez fréquent] [Peu fréquent] [Ne sais pas]

5/ Combien de vos clients sont grabataires ? [Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]

6/ Combien de vos clients ont (et utilisent) les équipements suivants :

Une canne	[Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]
Un fauteuil roulant	[Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]
Un fauteuil motorisé	[Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]

7/ Combien de vos clients vivent dans :

Un foyer logement	[Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]
Une maison de retraite	[Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]
Leur propre maison	[Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]

Leur propre appartement [Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]

Avec leur famille [Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]

Une maison partagée [Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]

Un appartement partagé [Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]

Autre : _____ [Tous] [La plupart] [Certains] [Peu]

8/ Combien de vos clients vivent seuls ? [Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]

9/ Quand vos clients ne vivent pas seuls, avec combien de personnes vivent-ils habituellement ?

10/ Combien de vos clients ont des chats ou des chiens dans leur habitat ?

[Tous] [La plupart] [Certains] [Peu] [Aucun]

11/ Combien de fois faites-vous en sorte que les services ou les articles suivants soient fournis à vos clients ?

Aide à la toilette [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Aide à la cuisine [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Aide au ménage [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Transport [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Livraison de repas [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Visite d'infirmière [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

12/ A quelle(s) pièce(s) avez-vous accès pendant une visite chez un client ? _____

13/ A quelle(s) pièce(s) n'avez-vous pas accès ? Pourquoi ? _____

14/ S'il y a de telles pièces, votre travail serait-il facilité si vous pouviez y avoir accès ?

[Oui] [Non]

15/ Combien de fois vos clients annulent-ils ou manquent-ils une visite ?

[Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

16/ Combien de fois faites-vous des visites non programmées ?

[Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

17/ Pour quelle(s) raison(s), faites-vous des visites non programmées ? _____

18/ Combien de fois considérez-vous les facteurs suivants quand vous programmez une visite chez un client ?

Date fixée par votre employeur [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Changement dans l'état médical du client [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Passage dans le quartier du client [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Appel du client [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Appel des ami(e)s / de la famille du client [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Appel du médecin ou de l'infirmière [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Autre : _____ [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement]

19/ Si vous aviez un moyen de connaître sans vous déplacer, chaque activité réalisée par votre client dans la journée, continueriez-vous à aller le voir ? Pourquoi ? _____

20/ Pensez-vous que vos clients permettraient l'installation de la technologie suivante dans leur habitat, si cette technologie permet de les aider à vivre de façon indépendante chez eux le plus longtemps possible ?

Internet [Certainement] [Peut-être] [Jamais] [Pas sûr] [Déjà équipé]

Ordinateur/Ordinateur portable [Certainement] [Peut-être] [Jamais] [Pas sûr] [Déjà équipé]

Bouton d'appel d'urgence [Certainement] [Peut-être] [Jamais] [Pas sûr] [Déjà équipé]

Caméras [Certainement] [Peut-être] [Jamais] [Pas sûr] [Déjà équipé]

Microphones [Certainement] [Peut-être] [Jamais] [Pas sûr] [Déjà équipé]

Détecteurs de mouvement [Certainement] [Peut-être] [Jamais] [Pas sûr] [Déjà équipé]

Contacts sur les portes [Certainement] [Peut-être] [Jamais] [Pas sûr] [Déjà équipé]

Comment préféreriez-vous recevoir des rapports (provenant de ces moyens technologiques) sur l'état de votre client ? (plusieurs réponses possibles)

Vidéo Fax Appel téléphonique

Site Internet Mail

Partie 2 :

A. Evaluation des Activités de la Vie Quotidienne

1/ Si vous aviez un moyen de connaître les activités quotidiennes de votre client entre vos visites, lesquelles vous semblent les plus importantes à connaître ? Pourquoi ? _____

2/ A quel point est-il important de savoir si les activités suivantes ont été réalisées?

Bain/Douche [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Propreté/Hygiène [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Habillage [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Prise de médicaments [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Sortie du lit le matin [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Aller aux toilettes [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Préparation des repas [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Prise de repas [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Sortie de l'habitat [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Vie sociale [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Blanchisserie [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Ménage [Très important] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Autre : _____ [Très important] [Moyennement] [Peu]

3/ Quel est le niveau de difficulté que vous rencontrez pour obtenir des informations précises sur les activités suivantes ?

Bain/Douche [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Propreté/Hygiène [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Habillage [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Prise de médicaments [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Sortie du lit le matin [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Aller aux toilettes [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Préparation des repas [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Prise de repas [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Sortie de l'habitat [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Vie sociale [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Blanchisserie [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Ménage [Très difficile] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Autre : _____ [Très difficile] [Moyennement] [Peu]

4/ Quelles raisons rendent une activité difficile à surveiller ? _____

5/ Quel est le niveau de précision obtenu quand les clients rendent compte des activités suivantes ?

Bain/Douche [Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Propreté/Hygiène [Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]

Habillage	[Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]
Prise de médicaments	[Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]
Sortie du lit le matin	[Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]
Aller aux toilettes	[Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]
Préparation des repas	[Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]
Prise de repas	[Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]
Sortie de l'habitat	[Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]
Vie sociale	[Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]
Blanchisserie	[Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]
Ménage	[Très précis] [Moyennement] [Peu] [Pas du tout]
Autre : _____	[Très précis] [Moyennement] [Peu]

6/ Combien de fois avez-vous besoin de l'information de personnes proches de votre client pour évaluer ces activités ?

Bain/Douche	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Propreté/Hygiène	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Habillage	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Prise de médicaments	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Sortie du lit le matin	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Aller aux toilettes	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Préparation des repas	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Prise de repas	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Sortie de l'habitat	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Vie sociale	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Blanchisserie	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]
Ménage	[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Autre : _____ [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement]

7/ Combien de fois inspectez-vous l'environnement du client (en regardant autour, en sentant, etc.) pour évaluer les activités suivantes ?

Bain/Douche [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Propreté/Hygiène [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Habillage [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Prise de médicaments [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Sortie du lit le matin [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Aller aux toilettes [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Préparation des repas [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Prise de repas [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Sortie de l'habitat [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Vie sociale [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Blanchisserie [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Ménage [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement] [Jamais]

Autre : _____ [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Rarement]

8/ Si vous visitez un client avec qui vous avez une communication difficile (à cause de sa démence, des barrières linguistiques, de sa perte d'audition, etc.), comment déterminez-vous à quel point il exécute les activités indispensables de la vie quotidienne ? _____

B. Fiches d'évaluation

1/ Combien de fiches devez-vous compléter pour une visite typique chez un client ? _____

2/ Est-ce que vos fiches d'évaluation sont construites à partir d'échelles d'évaluation de la dépendance (ADL de Katz, IADL de Lawton, AGGIR, etc.) ? [Oui] [Non]

Si oui, la(les)quelle(s) ? _____

3/ Combien de fois vous référez-vous à des fiches que vous avez précédemment complétées ?__
par [jour] [semaine] [mois]

4/ Combien de fois vous référez-vous aux fiches que vos collègues ont complétées ?___ par [jour]
[semaine] [mois]

Merci de votre participation !

* S'il y a d'autres points non abordés ici et dont vous souhaiteriez nous faire part, merci de les mentionner ci-dessous.

A.2 Questionnaire sur les habitudes de vie de l'occupant

Questionnaire

A. Horaires habituels :

1/ Quels sont vos horaires habituels de :

- **Lever :** _____
- **Prise des repas :**
 - **Petit-déjeuner :** _____
 - **Déjeuner :** _____
 - **Dîner :** _____

- **Autres repas :**
 - _____ : _____
 - _____ : _____
- **Toilette :** _____
- **Habillage :** _____
- **Coucher :** _____

2/ Combien de temps mettez-vous à préparer et à prendre vos repas ?

	Préparation	Prise du repas
• Petit-déjeuner :	_____ min	_____ min
• Déjeuner :	_____ min	_____ min
• Dîner :	_____ min	_____ min
• Autres repas :		
○ _____ :	_____ min	_____ min
○ _____ :	_____ min	_____ min

3/ Faites-vous la vaisselle juste après le repas ou plus tard ? ¹⁷

- **Juste après le repas** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Plus tard** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

4/ Quand faites-vous votre toilette (douche ou lavabo) ?

- **Le matin** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **L'après-midi** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Le soir** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Autre :** _____ [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

5/ Quand vous habillez-vous ?

- **Après le lever** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Après la toilette** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Autre :** _____ [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

¹⁷ Cochez la case correspondant à votre réponse.

6/ Quand sortez-vous ?

- **Le matin** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **L'après-midi** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **Le soir** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **Autre : _____** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- Combien d'heures par jour ? _____ heures par jour**

B. Endroits habituels :

1/ Où prenez-vous vos repas ?

- **Petit-déjeuner :**
 - **Canapé** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **Table** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **A l'extérieur** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **Autre : _____** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Déjeuner :**
 - **Canapé** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **Table** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **A l'extérieur** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **Autre : _____** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Dîner :**
 - **Canapé** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **Table** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **A l'extérieur** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **Autre : _____** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Autres repas :**
 - _____ :
 - **Canapé** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **Table** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **A l'extérieur** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
 - **Autre : _____** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

- _____ :
- **Canapé** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Table** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **A l'extérieur** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Autre : _____** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

2/ Où êtes-vous pendant la cuisson du repas ?

- **Cuisine** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Table** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Canapé** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Autre : _____** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

3/ Où faites-vous votre toilette ?

- **Douche** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Lavabo** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

4/ Où vous habillez-vous ?

- **Salle de bain** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Devant le placard à vêtements** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Autre : _____** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

5/ Pour laver du linge, utilisez-vous une machine à laver chez vous ou allez-vous à une laverie ?

- **Machine à laver chez vous** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Laverie** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Autre : _____** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

6/ Où lisez-vous des journaux ou des livres ?

- **Canapé** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Table** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Autre : _____** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

7/ Où regardez-vous la télé ?

- **Canapé** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]
- **Table** [Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

• Autre : _____

[Toujours] [Souvent] [Parfois] [Jamais]

Merci de votre participation !

A.3 Fiche de journal d'activités de l'occupant

Date : _____		Journal d'activités			
No	Heure de début	Activité	Endroit (pièce)	Durée de l'interruption	Raison de l'interruption
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Heure	Activité	
18hxx	WC (urine)	Aller aux toilettes pendant 0:0:48 de 17:58:27 à 17:59:14
18h30-55	Douche, WC (urine)	Aller aux toilettes pendant 0:3:32 de 18:29:46 à 18:33:17
19hxx-19h30	Dîner	Prendre une douche, pendant 0:1:54 de 18:33:18 à 18:35:11
21h	Habillage (chemise de nuit) et Aller au lit pour lire	Habillage après sa toilette, pendant 0:1:51 de 18:35:12 à 18:37:2
21h55	WC	Aller aux toilettes pendant 0:2:21 de 18:41:5 à 18:43:25
22h	Coucher	Repas pendant 0:6:54 de 19:12:14 à 19:19:8
23h45	WC	Coucher à partir de 20:41:34
6h	WC et recoucher	
8h15	Lever, WC (urine+)	Aller aux toilettes pendant 0:1:23 de 21:57:15 à 21:58:37
8h30	Petit-déjeuner	
9h-9h20	Enlever la poussière dans la salle de bain	Aller aux toilettes pendant 0:1:7 de 23:51:4 à 23:52:10
9h20	Dans la SdB, se rafraichir, quitter le pyjama	Aller aux toilettes pendant 0:1:29 de 6:2:21 à 6:3:49
9h50	Laver le sol avec la serpillière	Lever à 8:11:59
10h15	S'habiller, se coiffer	Aller aux toilettes pendant 0:2:21 de 8:12:57 à 8:15:17
10h40	Sortie pour marcher et faire des courses	Repas pendant 0:6:23 de 8:39:43 à 8:46:6
11h30	Rentrer, Quitter les vêtements de sortie	Aller aux toilettes pendant 0:2:44 de 8:53:16 à 8:55:59
12h30	WC	Aller aux toilettes pendant 0:4:45 de 9:29:4 à 9:33:48
12h35	Déjeuner	Prendre une douche, pendant 0:2:33 de 9:33:49 à 9:36:21
15h30	WC (urine)	Toilette au lavabo, pendant 0:13:21 de 9:36:22 à 9:49:42
		Habillage après sa toilette, pendant 0:1:28 de 9:56:19 à 9:57:46
		Aller aux toilettes pendant 0:3:23 de 10:0:28 à 10:3:50

		<p>Prendre une douche, pendant 0:1:44 de 10:3:51 à 10:5:34</p> <p>Aller aux toilettes pendant 0:0:58 de 10:33:31 à 10:34:28</p> <p>Habillage avant ou après une sortie, pendant 0:2:31 de 10:34:41 à 10:37:11</p> <p>Sortir pendant 0:48:14 de 10:39:27 à 11:27:40</p> <p>Habillage avant ou après une sortie, pendant 0:2:11 de 11:33:2 à 11:35:12</p> <p>Repas pendant 0:5:15 de 12:31:20 à 12:36:35</p> <p>Aller aux toilettes pendant 0:3:29 de 13:15:34 à 13:19:2</p> <p>Aller aux toilettes pendant 0:0:52 de 15:23:50 à 15:24:41</p> <p>Aller aux toilettes pendant 0:0:46 de 16:7:36 à 16:8:21</p>
--	--	--

Annexe B

Modèle de Markov caché

Etant donné que chaque activité peut être représentée par une séquence de changements de pièce et par des changements d'état mobile-immobile dans chaque pièce et que les changements font déclencher des capteurs, nous pouvons utiliser le modèle de Markov caché (MMC) pour reconnaître des activités. Nous commençons par présenter quelques définitions et principes du modèle de Markov caché puis nous appliquons ce modèle à la reconnaissance des activités.

B.1 Principe du modèle de Markov caché

Une chaîne de Markov cachée est un automate à M états que l'on note

$$m : 1, \dots, M$$

On note s_t l'état de l'automate à l'instant t .

La probabilité de transition d'un état m à un état m' est donnée, elle est noté $a(m, m')$.

$$a(m, m') = p(s_t = m' / s_{t-1} = m)$$

On a

$$\sum_{m'=1}^M a(m, m') = 1$$

On se donne aussi $d(m)$, la probabilité que l'automate soit dans l'état m à l'instant initial :

$$d(m) = p(s_0 = m)$$

On a

$$\sum_{m=1}^M d(m) = 1$$

Lorsque l'automate passe dans l'état m il émet une donnée y_t qui peut prendre N valeurs :

$$n : 1, \dots, N$$

La probabilité pour que l'automate émette un signal n lorsqu'il est dans l'état m sera notée $b(m, n)$:

$$b(m, n) = p(y_t = n / s_t = m)$$

On a

$$\sum_{n=1}^N b(m, n) = 1$$

L'adjectif « caché » employé pour caractériser le modèle traduit le fait que l'émission d'une donnée à partir d'un état est aléatoire. Ce caractère aléatoire des mesures est ajouté aux propriétés des processus markoviens.

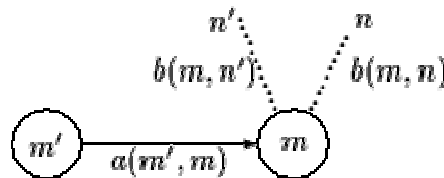


Figure 4-17 - Probabilité de transition et d'émission d'une donnée dans le modèle de Markov caché

La propriété importante des processus markoviens est que l'évolution de l'automate après l'instant t ne dépend que de la valeur de l'état où il se trouve à cet instant et des commandes qui lui sont appliquées ensuite et non de ce qu'il a subi avant d'arriver à cet état. En particulier, le futur ne dépend pas de la manière où l'automate s'est retrouvé dans l'état en question.

Les M états et les N valeurs possibles des mesures, ainsi que les probabilités $a(m, m')$, $b(m, n)$ et $d(m)$ caractérisent le modèle.

$\lambda = [a(m, m'), b(m, n), d(m)]$ indique les paramètres complets du modèle.

Dans le modèle de Markov caché, il y a trois problèmes fondamentaux [Rabiner, 1989] :

1) Problème 1 - Probabilité d'observation d'une séquence $p(Y / \lambda)$

On a observé une séquence de mesures $Y = [y_0, \dots, y_t, \dots, y_T]$. Quelle est la probabilité pour que l'automate caractérisé par les paramètres $\lambda = [a(m, m'), b(m, n), d(m)]$ ait engendré cette séquence ? Solution : la probabilité d'observation d'une séquence $p(Y / \lambda)$ s'obtient en utilisant la procédure de calcul à t croissant ou la procédure de calcul à t décroissant.

2) Problème 2 - Reconnaissance

On a observé $Y = [y_0, \dots, y_t, \dots, y_T]$. $\lambda = [a(m, m'), b(m, n), d(m)]$ est donné. Quelle est la séquence d'état $S = [s_0, \dots, s_T]$ la plus probable qui a engendré $[y_0, \dots, y_t, \dots, y_T]$? Solution : la séquence d'états la plus probable ayant produit la séquence mesurée $Y = [y_0, \dots, y_t, \dots, y_T]$ s'obtient en utilisant l'algorithme de Viterbi.

3) Problème 3 - Apprentissage

On a observé $[y_0, \dots, y_t, \dots, y_T]$. Comment calculer (ou plutôt actualiser) les paramètres du modèle $[a(m, m'), b(m, n), d(m)]$ pour maximiser la probabilité d'observer $[y_0, \dots, y_t, \dots, y_T]$, $p(Y / \lambda)$? Solution : on peut choisir un $\lambda = [a(m, m'), b(m, n), d(m)]$ afin que $p(Y / \lambda)$ soit maximisée au niveau local en utilisant une procédure itérative comme la Baum-Welch méthode ou la méthode équivalente EM (expectation-modification).

B.2 Application du modèle de Markov caché pour la reconnaissance des activités

Wilson [Wilson, 2005] a utilisé le modèle de Markov caché (MMC) pour reconnaître quelques activités réalisées par une personne dans un scénario supervisé. Il a présenté quelques résultats préliminaires sur la reconnaissance de certaines activités mais les modèles de Markov cachés qu'il a définis pour chaque activité, et le procédé d'apprentissage qu'il a utilisé ne sont pas

détaillés. Nous nous sommes inspirés de son travail pour appliquer le MMC à la reconnaissance des activités de la vie quotidienne d'une personne âgée.

Le déplacement de l'occupant dans les pièces de l'habitat et son état, mobile-immobile, dans chaque pièce sont modélisés par un modèle de Markov caché. Chaque changement de pièce, ou d'état (mobile-immobile) de l'occupant, est représenté par une transition d'état dans le modèle.

Dans ce modèle, nous noterons s_t l'état de l'occupant à l'instant t .

$$s_t = \{r_t, a_t\}$$

Avec

$r_t \in R : \{l'ensemble_des_pièces\}$ - représente la pièce dans laquelle se trouve l'occupant à l'instant t .

$a_t \in \{mobile, immobile\}$ - représente l'état mobile ou immobile de l'occupant à l'instant t .

La probabilité de transition d'un état m à un état m' est donnée

$$a(m, m') = p(s_t = m' / s_{t-1} = m) = p(r_t / s_{t-1} = m) * p(a_t / s_{t-1} = m)$$

Avec

$p(r_t / s_{t-1} = m)$: probabilité de transition à la pièce r_t , étant donné la pièce précédente et l'état mobile-immobile précédent.

$p(a_t / s_{t-1} = m)$: probabilité de transition à l'état mobile-immobile a_t , étant donné la pièce précédente et l'état mobile-immobile précédent.

On a

$$\sum_{m'=1}^M a(m, m') = 1$$

où M est le nombre d'états du modèle.

Lorsque le modèle passe dans l'état m il émet un signal y_t qui est une combinaison de la valeur de l'ensemble des capteurs infrarouges e_{it}

$$y_t = \{e_{1t} e_{2t} \dots e_{Et}\}$$

Avec

e_{it} est la valeur du capteur i à l'instant t . Elle prend la valeur 0 pour l'état non déclenché du capteur et la valeur 1 pour l'état déclenché.

E est le nombre de nombre de capteurs.

La probabilité pour que le modèle émette un signal $n = \{e_1 e_2 \dots e_E\}$ lorsqu'il est dans l'état m sera notée $b(m, n)$:

$$b(m, n) = p(y_t = n / s_t = m) = \prod_{i=1}^E p(e_i / s_t = m)$$

Avec $p(e_i / s_t = m)$ est la probabilité d'observation de la valeur e_i du capteur i , étant donné la pièce et l'état mobile-immobile de l'occupant.

On a

$$\sum_n b(m, n) = 1$$

Lorsque le modèle change d'état, il émet un signal. Ce signal est enregistré par les capteurs et représenté sous forme une combinaison des valeurs de capteurs. A cause des incohérences de capteurs (tels que les zones de détection conjointes), les données enregistrées sont parfois aléatoires. C'est une des raisons pour lesquels nous pouvons utiliser le modèle de Markov caché pour reconnaître des activités.

La probabilité que le modèle soit dans l'état m à l'instant initial : $d(m) = p(s_0 = m)$.

Les M états, les probabilités $a(m, m')$, $b(m, n)$ et $d(m)$ caractérisent le modèle.

En supposant que chaque activité peut être représentée par une séquence des changements de pièce et par des changements d'état mobile-immobile dans chaque pièce et que les changements font déclencher des capteurs, nous pouvons utiliser le modèle de Markov caché pour reconnaître des activités. La reconnaissance d'activités par le MMC s'effectue par 2 étapes : étape d'apprentissage et étape de reconnaissance.

Dans l'étape d'apprentissage, la réalisation d'une activité de la vie quotidienne (AVQ) de l'occupant génère une séquence de déclenchements des capteurs $Y = [y_0, \dots, y_t, \dots, y_T]$ qui est enregistrée dans le fichier de capteurs. On construit un modèle de Markov caché et calcule les paramètres du modèle $\lambda = [a(m, m'), b(m, n), d(m)]$ pour maximiser $p(Y / \lambda)$, la probabilité d'observer la séquence $Y = [y_0, \dots, y_t, \dots, y_T]$. Ce modèle représente cette AVQ. Pour chaque AVQ qui nous intéresse, nous construisons un modèle de Markov caché.

Dans l'étape de reconnaissance, à partir de la séquence de déclenchements des capteurs enregistrée d'une activité inconnue $Y = [y_0, \dots, y_t, \dots, y_T]$, on calcule la probabilité d'observation de cette séquence pour chaque modèle construit $p(Y / \lambda_k), 1 \leq k \leq K$, K : nombre de modèles ou nombre d'AVQ à reconnaître. L'activité inconnue correspondra à l'AVQ dont le modèle a la probabilité d'observation la plus grande, $k^* = \arg \max_{1 \leq k \leq K} [p(Y / \lambda_k)]$. La Figure 4-18 illustre l'étape de reconnaissance.

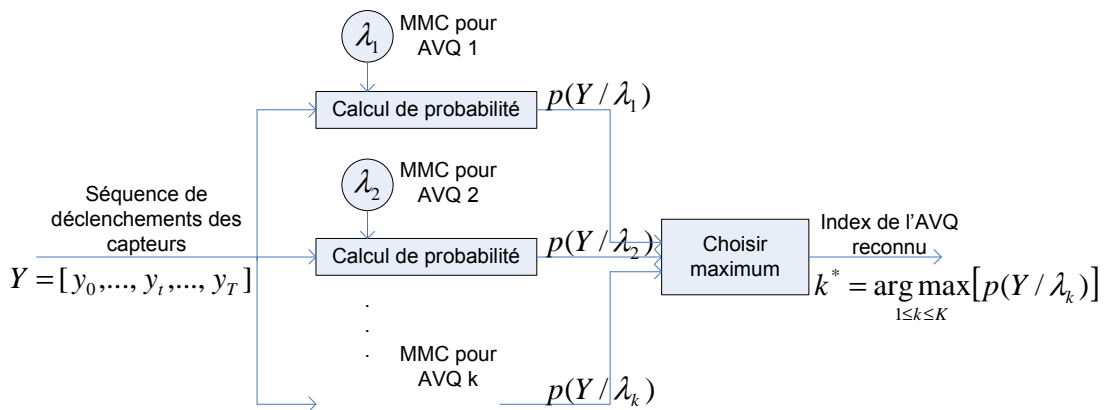


Figure 4-18 – Reconnaissance par MMC

Pour expérimenter cette méthode, nous avons réalisé un scénario supervisé dans la plateforme HIS afin de simuler la vie quotidienne d'une personne âgée. Ce scénario reproduit en environ 2 heures et demie les différentes AVQ réalisées dans une journée (voir Figure 4-19).

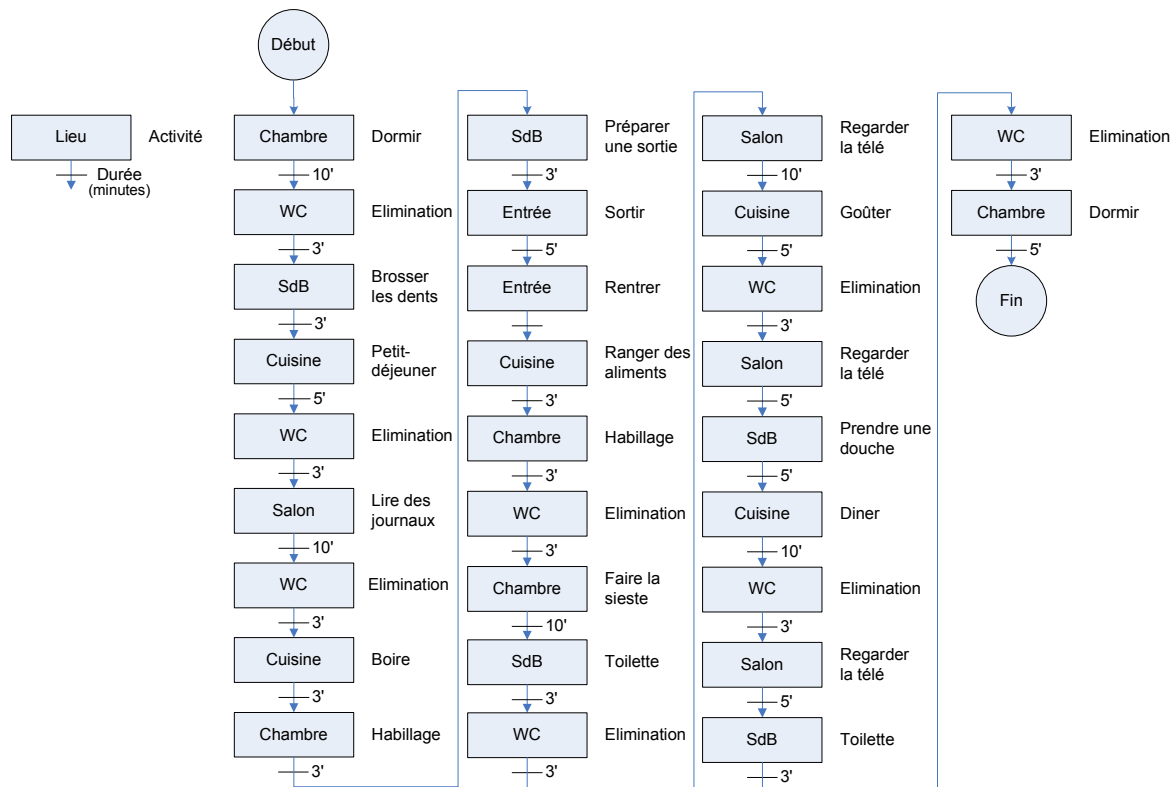


Figure 4-19 - Scénario simulant la vie quotidienne d'une personne âgée

A partir des données provenant du scénario, nous construisons trois modèles de Markov caché correspondant aux trois cas particuliers de l'activité 'manger' qui existent dans notre scénario : petit-déjeuner, goûter, et dîner (notre scénario représente le cas où la personne va déjeuner à l'extérieur). Les trois activités se réalisent dans les mêmes pièces. Leurs modèles de Markov cachés ont donc les mêmes états et les mêmes signaux mesurés. La Figure 4-20 présente le modèle de Markov caché pour l'activité 'manger' dans la plateforme HIS.

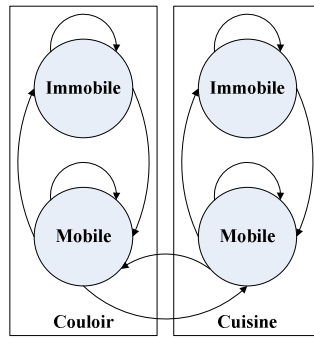


Figure 4-20 – Modèle de Markov caché pour l’activité ‘manger’

Ce modèle possède quatre états : couloir mobile, couloir immobile, cuisine mobile et cuisine immobile, et quatre signaux : capteur de couloir déclenché, capteur de couloir non déclenché, capteur de la cuisine déclenché et capteur de la cuisine non déclenché.

En utilisant le logiciel Matlab (statistics toolbox), nous avons installé les modèles de Markov cachés pour les trois activités. Les paramètres de chaque modèle sont estimés par une étape d’apprentissage avec la séquence de déclenchements des capteurs correspondante (c’est un scénario supervisé, on connaît donc l’instant de début et de fin de chaque activité dans la séquence de déclenchements des capteurs enregistrée). Le Tableau 4-11 présente le résultat de l’étape de reconnaissance.

Tableau 4-11 - Résultat de l’étape de reconnaissance

Séquence à reconnaître \ MMC	Petit-déjeuner	Goûter	Dîner
Séquence 1 : petit-déjeuner	-145,96	-157,96	-159,66
Séquence 2 : goûter	-93,67	-60,63	-66,83
Séquence 3 : dîner	-Inf	-Inf	-234,05

Dans le tableau, on a 3 séquences à reconnaître. Chaque ligne correspond à une séquence de déclenchements des capteurs à reconnaître. Chaque colonne correspond à un modèle de Markov caché construit et appris. Pour chacune des séquences 1, 2 et 3, on calcule la probabilité d’observation de cette séquence dans chacun des trois modèles (correspondant aux colonnes). Chaque case contient le logarithme de la probabilité d’observation ($\log(p(Y / \lambda))$) de la séquence de cette ligne dans le modèle de cette colonne.

Les cases dans la diagonale, contenant la probabilité la plus grande de chaque ligne, présentent une correspondance entre le modèle de Markov caché d'une activité et la séquence de déclenchements des capteurs représentant cette activité. Ce résultat nous permet de classer les différentes activités qui se réalisent dans une même pièce. Par exemple, on peut classer les activités dans la cuisine : prendre des repas, faire la vaisselle, cuisiner ou les activités dans la salle de bain : s'habiller, brosser les dents, laver les mains, se maquiller, etc. C'est une étape indispensable pour évaluer les AVQ concernant l'alimentation et la toilette.

Pour les données provenant de la plateforme AILISA, une phase d'apprentissage est nécessaire afin de construire les modèles. Pour cela, il faut disposer d'un journal d'activités de l'occupant sur quelques jours avec l'instant exact de début et de fin de chaque AVQ pour localiser sa séquence d'observation dans la séquence de déclenchements des capteurs qui nécessite dans la phase d'apprentissage. Après cette phase d'apprentissage (sur quelques jours), les modèles MMC pourront permettre de reconnaître les AVQ pour les jours suivants. A cause de manque du journal d'activités de l'occupant sur quelques jours, nous n'avons pas continué à développer cette méthode.

Annexe C

Liste des publications

X. H. B. Le, M. Di Mascolo, A. Gouin, and N. Noury, “Health Smart Home - Towards an assistant tool for automatic assessment of the dependence of elders”, *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, 2007.

X. H. B. Le, M. Di Mascolo, A. Gouin, et N. Noury, « Habitat intelligent pour la santé - Vers un outil d'aide à l'évaluation automatique de la dépendance d'une personne âgée », *e-STA, e-revue des Sciences et Technologies de l'Automatique*, 2007, vol 4, n°3, numéro spécial JD-JN-MACS'07.

X. H. B. Le, A. Gouin, et M. Di Mascolo, « Etat de l'art sur la télésurveillance du comportement d'une personne âgée vivant seule dans un habitat intelligent pour la santé », *4^{ème} édition de la conférence Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers*, 2008.

X. H. B. Le, M. Di Mascolo, A. Gouin, and N. Noury, “Health Smart Home for elders – A tool for automatic recognition of activities of daily living”, *Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, 2008.

Annexe D

Programme de traitement

- Langage du programme : Matlab (R2007b)
- Nom du programme : AGIP (AGing In Place)
- Structure du programme :

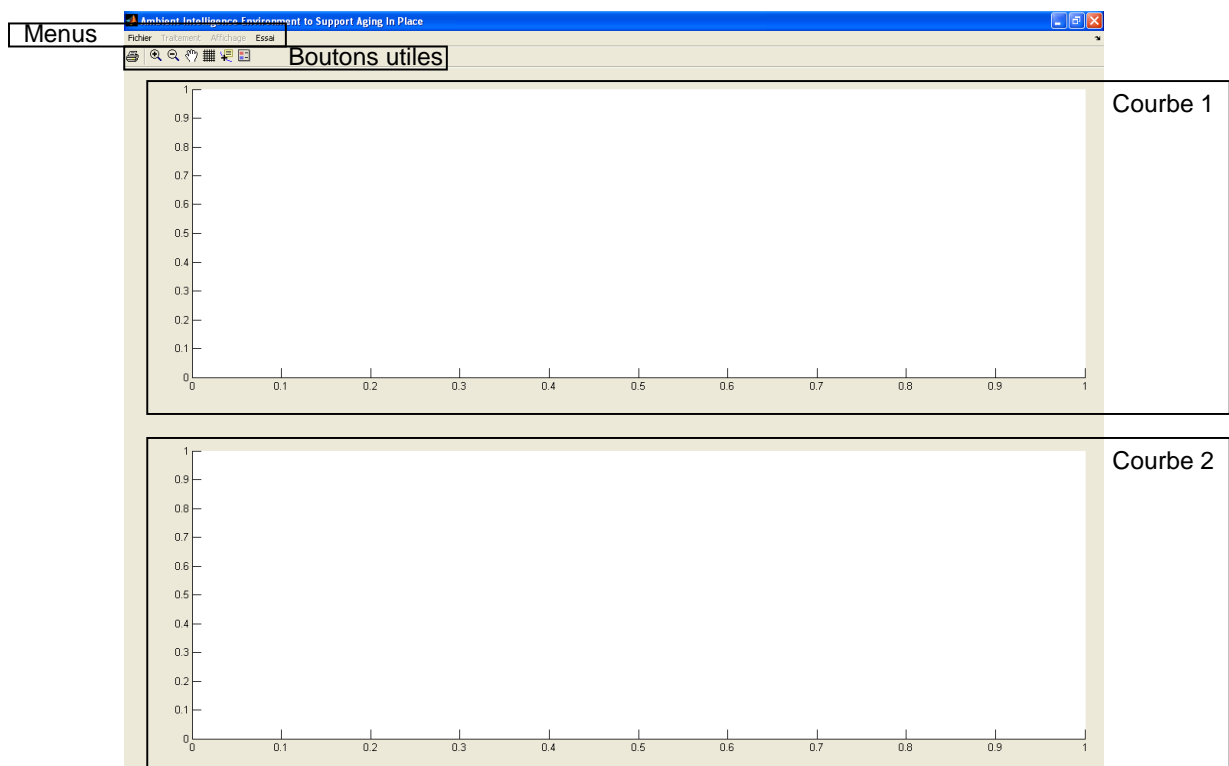
Le programme AGIP est organisé de la manière suivante (Figure 4-21) :

Nom	Taille	Type
Input		Dossier de fichiers
Output		Dossier de fichiers
Data	5 Ko	MATLAB Figure
Data	10 Ko	MATLAB M-file
DisplayCourbeCapTemps	3 Ko	MATLAB M-file
DisplayCourbeJourneeType	7 Ko	MATLAB M-file
DisplayHistogrammeNivAct	2 Ko	MATLAB M-file
DisplayMatriceTrans	1 Ko	MATLAB M-file
EtapeCorrection	23 Ko	MATLAB M-file
EtapeEvaluationNotationV1	6 Ko	MATLAB M-file
EtapeEvaluationNotationV2	8 Ko	MATLAB M-file
EtapeReconnaissanceActivites	64 Ko	MATLAB M-file
EtapeTraitementSequentiel	18 Ko	MATLAB M-file
Evaluation.dfit	91 Ko	Fichier DFIT
GUI	14 Ko	MATLAB Figure
GUI	128 Ko	MATLAB M-file
HMM	5 Ko	MATLAB M-file
Parameter	9 Ko	MATLAB Figure
Parameter	38 Ko	MATLAB M-file
Questionnaire	6 Ko	MATLAB Figure
Questionnaire	28 Ko	MATLAB M-file
State	2 Ko	MATLAB Figure
State	4 Ko	MATLAB M-file
Test	5 Ko	MATLAB Figure
Test	23 Ko	MATLAB M-file
TestCodeDisplay	3 Ko	MATLAB M-file
TestEcriture	2 Ko	MATLAB M-file
TestStatistique	9 Ko	MATLAB M-file
toTime	1 Ko	MATLAB M-file

Figure 4-21 – Structure du programme

Le dossier « AGIP » contient :

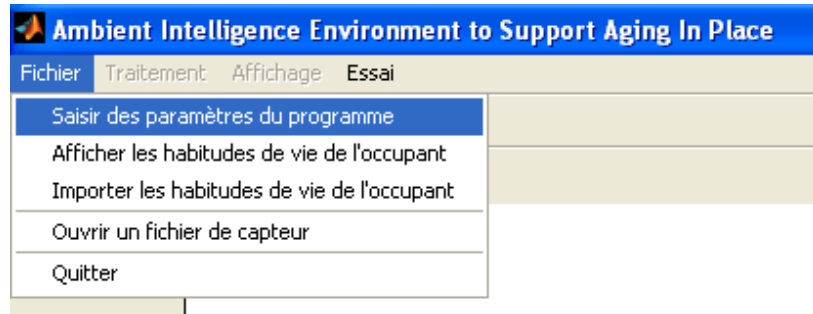
- les fichiers d'exécution et d'affichage : le fichier d'exécution principal est le fichier nommé « GUI » (Graphic User Interface). Les autres fichiers s'occupent des tâches comme l'affichage des courbes, l'exécution d'une étape dans le processus de traitement...
 - le dossier « Input » qui contient les fichiers de données de capteurs dans le dossier « SensorData », les paramètres du programme sauvegardé dans un fichier dans le dossier « Parameter », les informations concernant les habitudes de vie de l'occupant sauvegardées dans un fichier dans le dossier « Questionnaire ».
 - le dossier « Output » sauvegarde des figures du processus de traitement dans le dossier « Figs », des séquences d'états mobile-immobile, liste d'états mobile-immobile, l'heure de réalisation des activités reconnues... dans le dossier « Reports ». Le dossier « Temps » dans le dossier « Output » contient des informations obtenues quand on teste des algorithmes.
- Interface du programme :



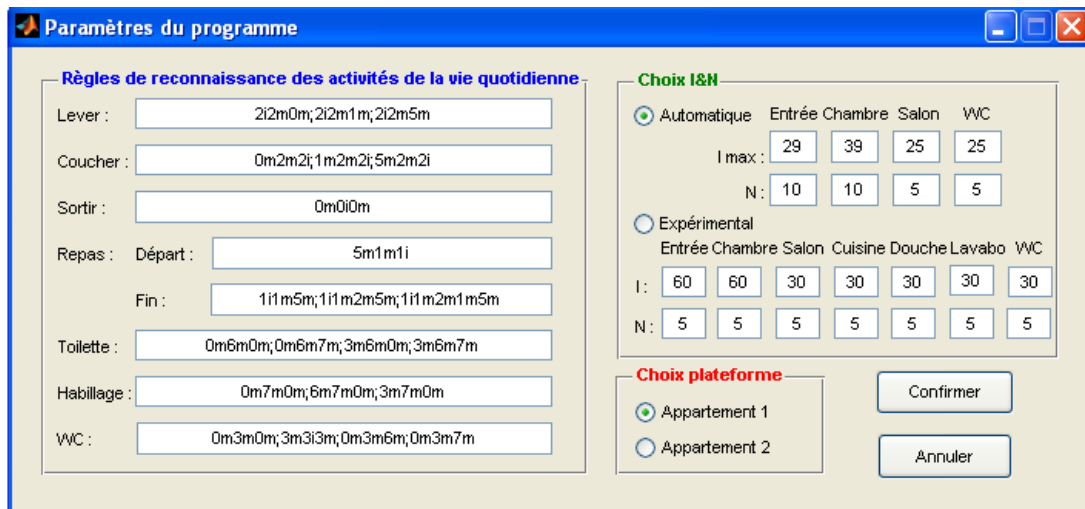
- Manipulation du programme : faire exécuter le fichier « GUI »

- Etape 1 : Afficher et régler des paramètres du programme.

Dans le menu déroulant "Fichier", on sélectionne « Saisir des paramètres du programme ».

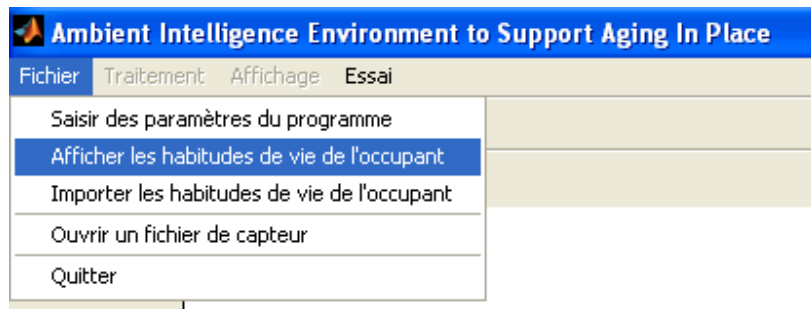


Une nouvelle fenêtre va apparaître où on peut voir et changer des paramètres du programme : valeurs de I, de N, règles de reconnaissance,...



- Etape 2 : Afficher ou importer les habitudes de vie de l'occupant.

Dans le menu déroulant "Fichier", on sélectionne « Afficher les habitudes de vie de l'occupant ».



Une nouvelle fenêtre va apparaître où on peut voir et changer les informations sur les habitudes de vie de l'occupant.

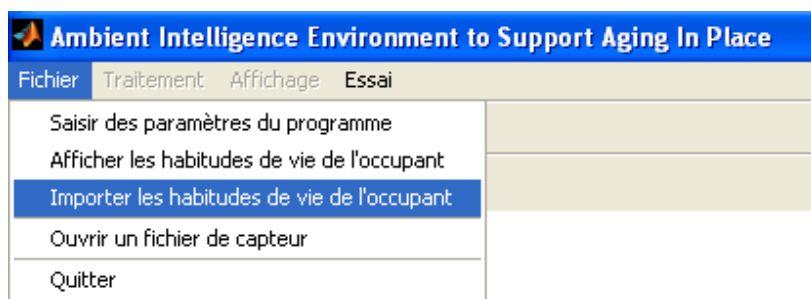
Habitudes de vie de l'occupant		Préparation		Prise (min)	
Réveil :	6:0				
Lever :	7:0				
Petit-déjeuner :	7:0	2		30	
Déjeuner :	11:0	15		15	
Diner :	18:0	5		10	
Heure (h)		Durée (min)			
Prise de douche :	8:0	10			
Habillage :	8:10	3			
Sortir :	9:0	60			
Coucher :	20:0				
Sommeil :					

Choix plateforme

Appartement 1
 Appartement 2

Confirmer
Annuler

Dans le menu déroulant "Fichier", on sélectionne « Importer les habitudes de vie de l'occupant ».



Une nouvelle fenêtre va apparaître où on peut remplir les informations sur les habitudes de vie de l'occupant.

Questionnaire

Habitudes de vie de l'occupant

Heure (h)

Réveil : 0:0

Lever : 0:0

Préparation Prise (min)

Petit-déjeuner : 0:0 0 0

Déjeuner : 0:0 0 0

Diner : 0:0 0 0

Heure (h) Durée (min)

Prise de douche : 0:0 0

Habillage : 0:0 0

Sortir : 0:0 0

Coucher : 0:0

Sommeil :

Choix plateforme

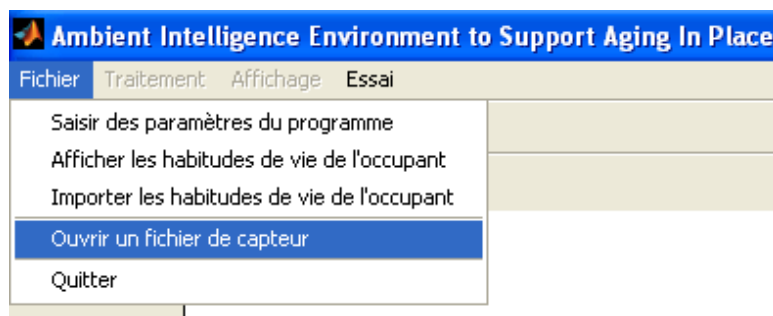
Appartement 1

Appartement 2

Confirmer

Annuler

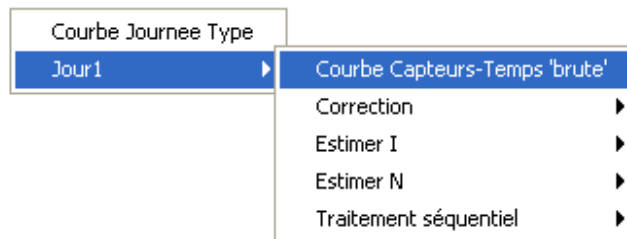
- Etape 3 : Choisir des données d'un ou plusieurs jours à traiter.
- Dans le menu déroulant "Fichier", on sélectionne « Ouvrir un fichier de capteur ».



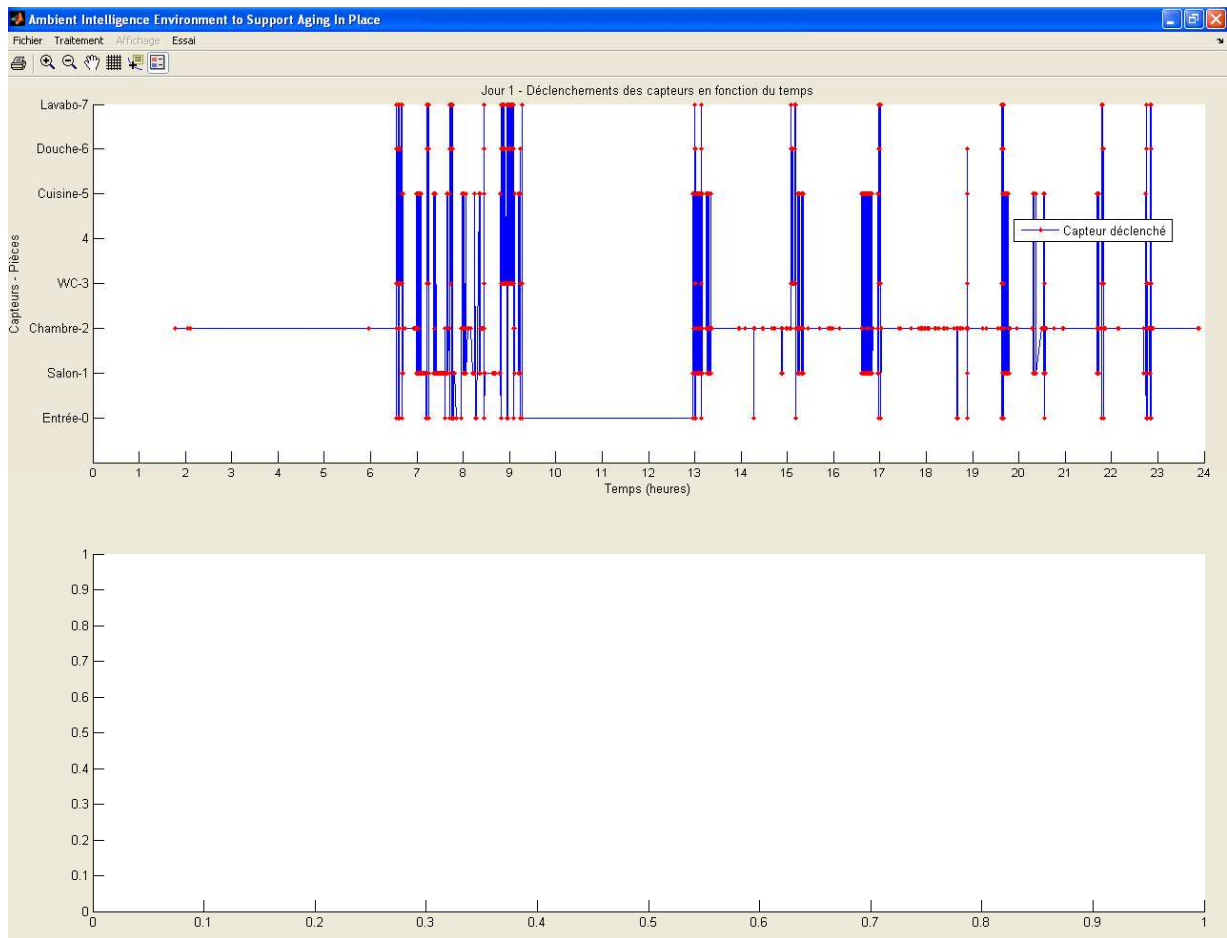
Une nouvelle fenêtre va apparaître où on peut choisir quels sont les jours de données à traiter.



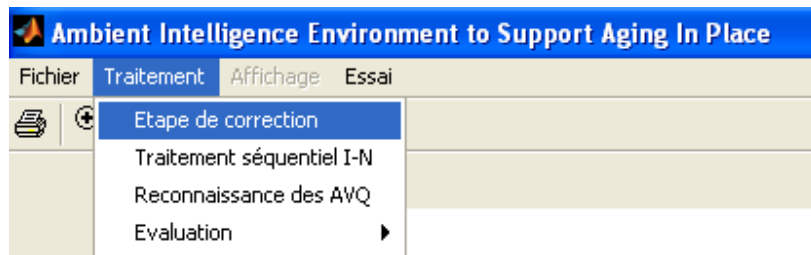
- Etape 4 : Traitement et évaluation.
1. Afficher la courbe de déclenchements des capteurs en fonction de temps : dans le menu contextuel du clic droit, on sélectionne « Courbe capteurs-temps 'brute' »



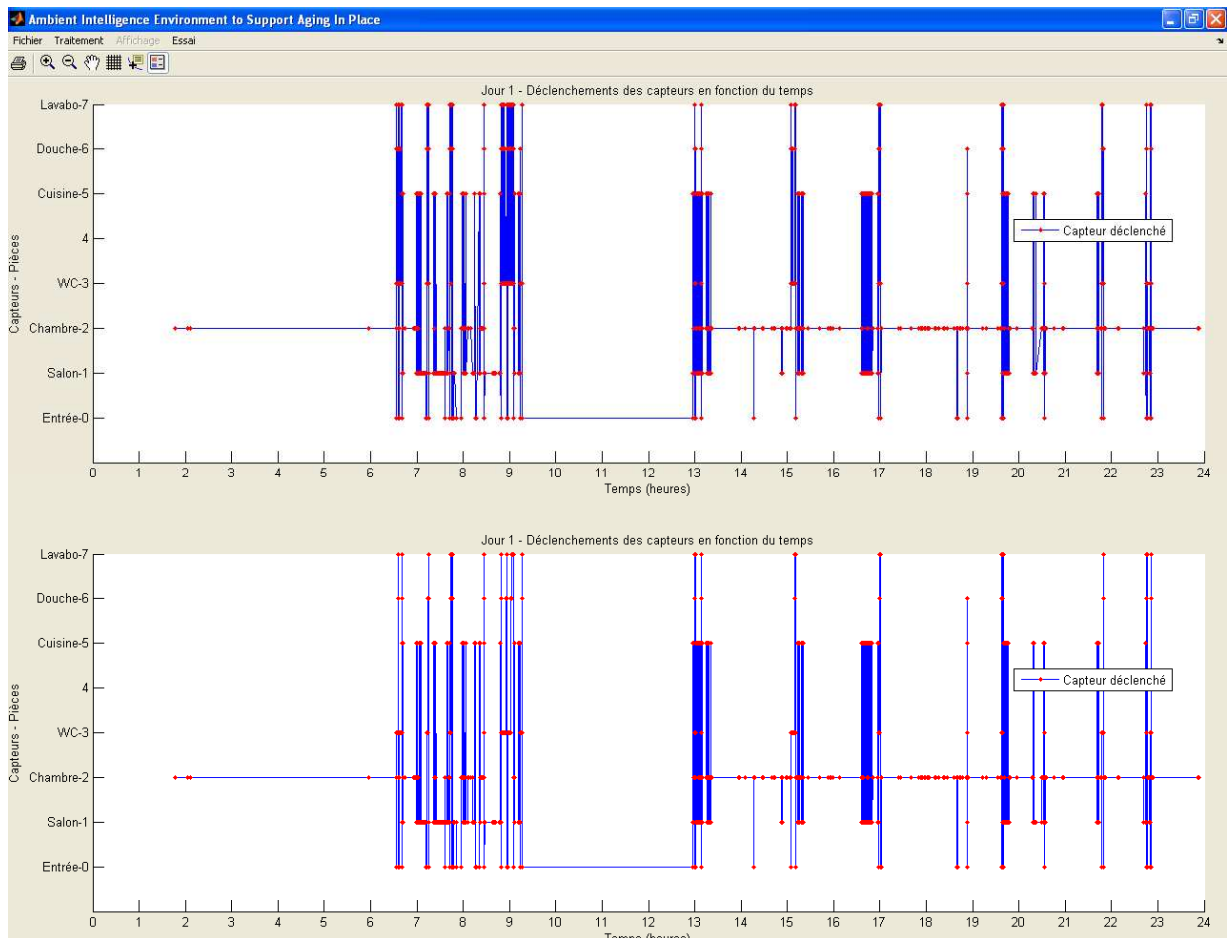
La courbe de déclenchements des capteurs en fonction du temps est affichée sur la partie haute de l'interface du programme (courbe 1).



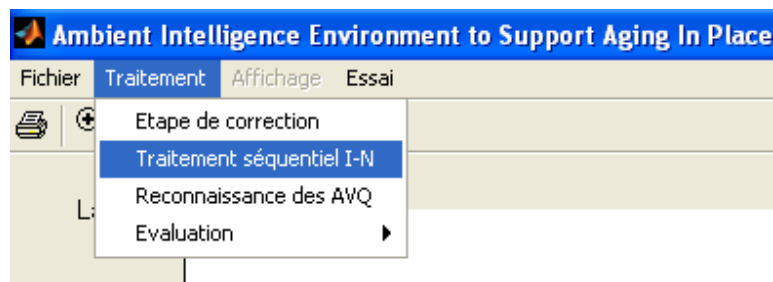
2. Etape de correction : dans le menu déroulant "Traitement", on sélectionne « Etape de correction ».



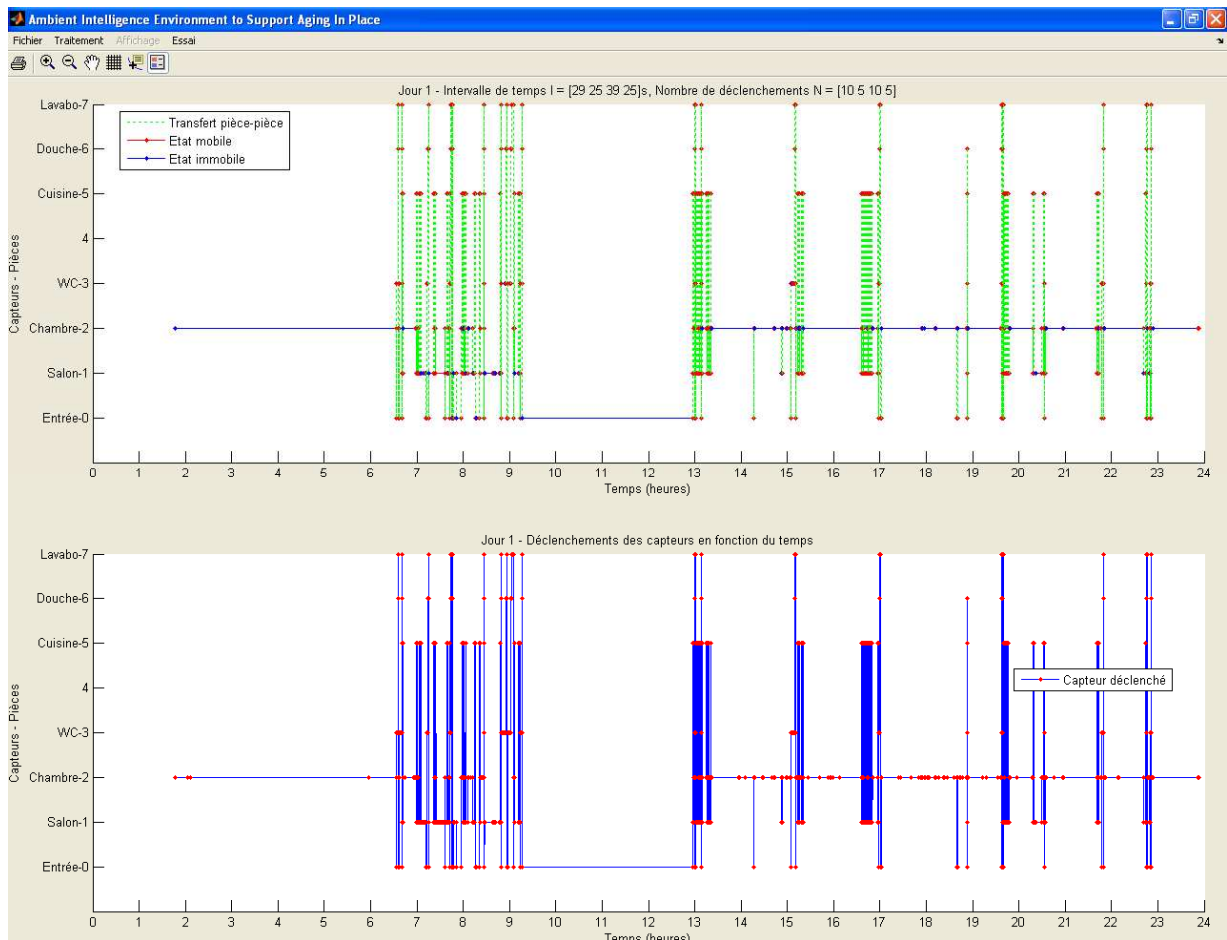
La courbe capteurs-temps avant la correction est affichée sur la partie haute de l'interface (courbe 1). La courbe capteurs-temps après la correction est affichée sur la partie basse de l'interface (courbe 2).



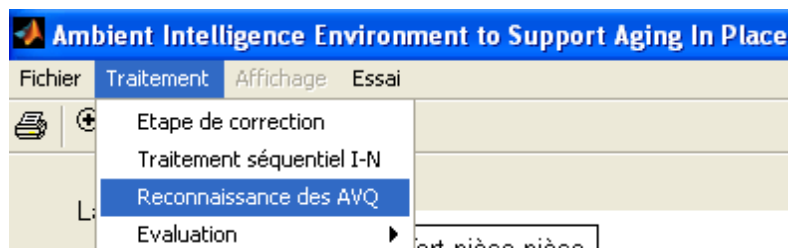
3. Etape de traitement séquentiel : dans le menu déroulant "Traitement", on sélectionne « Traitement séquentiel I-N ».



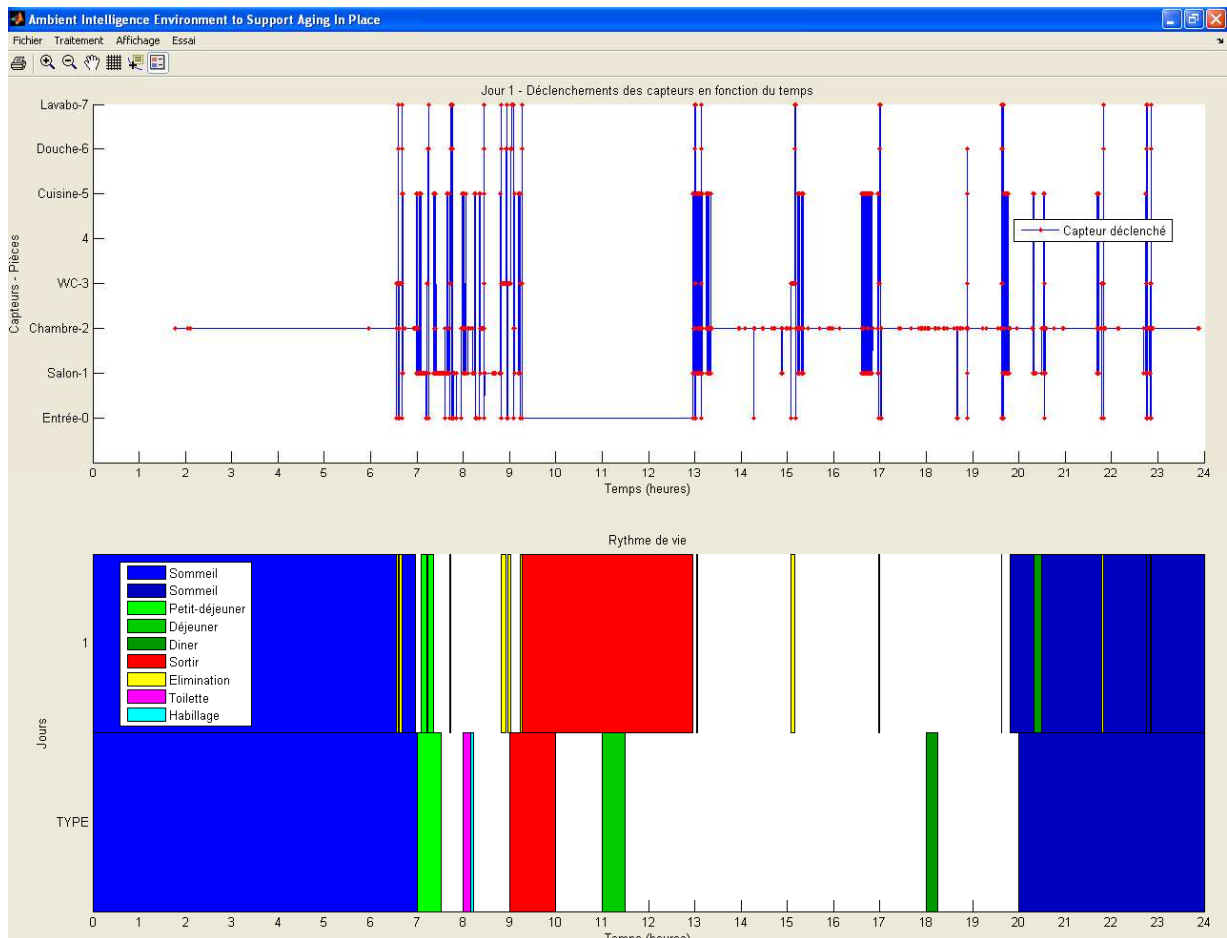
La courbe des états mobiles-immobiles est affichée sur la partie haute de l'interface (courbe 1). La courbe capteurs-temps après la correction reste toujours dans la partie basse de l'interface (courbe 2).



4. Etape de reconnaissance des AVQ : dans le menu déroulant "Traitement", on sélectionne « Reconnaissance des AVQ ».

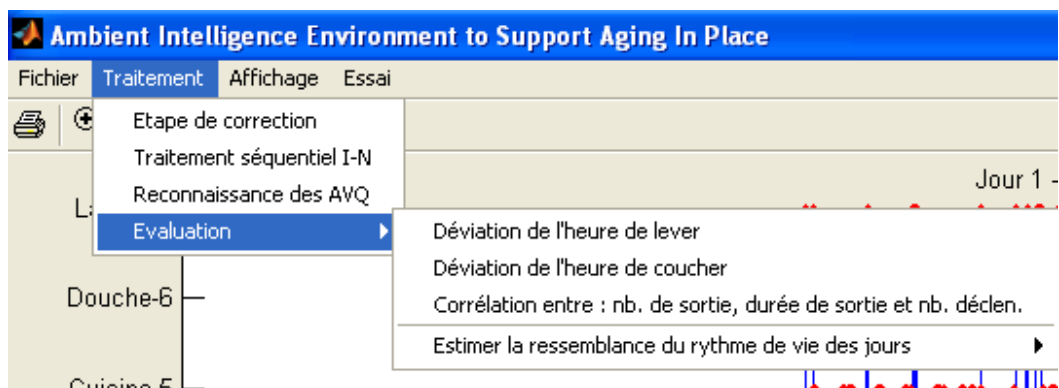


La courbe capteurs-temps après la correction est affichée sur la partie haute de l'interface (courbe 1). La courbe du rythme de vie de cette journée et de la journée habituelle est affichée sur la partie basse de l'interface (courbe 2).

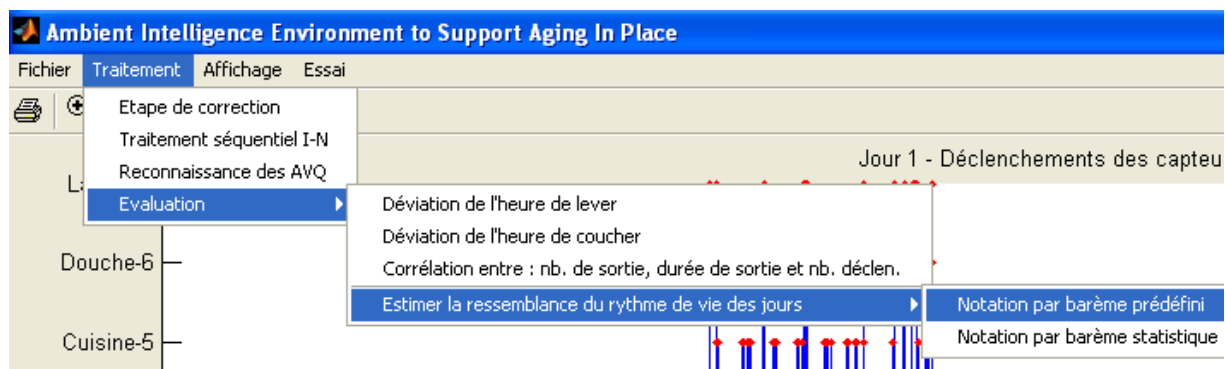


5. Etape d'évaluation :

- a. Observation de la tendance de quelques activités : dans le menu déroulant "Traitement", on sélectionne « Evaluation », puis on choisit :
 - i. « Déviation de l'heure de lever » : afin d'afficher la courbe de l'heure de lever des jours de données traités.
 - ii. « Déviation de l'heure de coucher » : afin d'afficher la courbe de l'heure de coucher des jours de données traités.
 - iii. « Corrélation entre : nb. de sortie, durée de sortie et nb. déclen. » : afin d'afficher la courbe de durée de sortie, du nombre de sorties et aussi du nombre de déclenchements de capteurs dans les jours de données traités.



- b. Evaluation par notation : dans le menu déroulant "Traitement", on sélectionne « Evaluation », après on sélectionne « Estimer la ressemblance du rythme de vie des jours », puis on choisit :
- i. « Notation par barème prédéfini » : afin d'afficher la courbe des pourcentages de réalisation des AVQ dans les jours étudiés.
 - ii. « Notation par barème statistique » : afin d'afficher la courbe des scores de réalisation des AVQ dans les jours étudiés.



- Algorithmes du programme :
 - ◆ Traitement séquentiel :

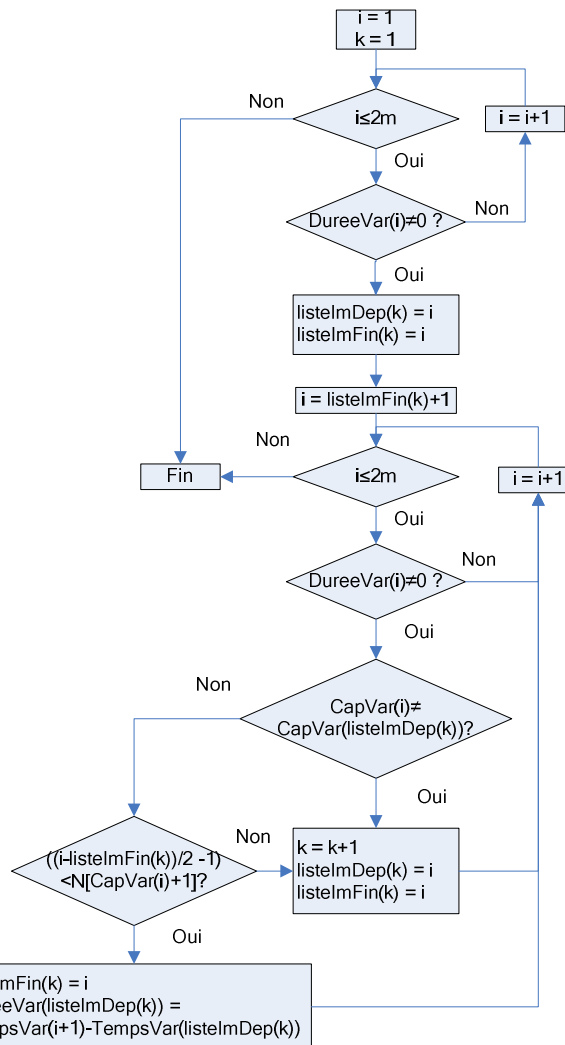
Données primaires :
 Cap (i), i = 1:m
 Temps(i), i=1:m
 l(c), c=1:8
 N(c), c=1:8

Changer la forme d'archivage :
 FOR i=1:m
 CapVar(2i-1) = Cap(i)
 CapVar(2i) = Cap(i)
 TempsVar(2i-1) = Temps(i)
 TempsVar(2i) = Temps(i)

Calculer la durée :
 FOR i=1:m-1
 DureeVar(2i-1) = 1
 DureeVar(2i) = Temps(i+1)-Temps(i)-1
 IF DureeVar(2i)≠0
 TempsVar(2i) = TempsVar(2i)+1

Eliminer les durées < l :
 FOR i=1:2m
 IF DureeVar(i)<[CapVar(i)+1]
 DureeVar(i) = 0

Combiner des états immobiles avec N :



Bibliographie

- [Alwan et al., 2006] M. Alwan, S. Dalal, D. Mack, S. W. Kell, B. Turner, J. Leachtenauer, et R. Felder, “Impact of monitoring technology in assisted living: outcome pilot”, *IEEE TITB*, vol. 10, no. 1, 2006.
- [Avent et Charlton, 1990] R. K. Avent, J. D. Charlton, “A Critical Review of Trend-Detection Methodologies for Biomedical Monitoring Systems”, *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 17, no. 6, pp. 621–659, 1990.
- [Banerjee et al., 2003] S. Banerjee, F. Steenkeste, P. Couturier, M. Debray, et A. Franco, “Telesurveillance of elderly patients by use of passive infra-red sensors in a ‘smart’ room”, *Journal of Telemedicine and Telecare*, 2003, 9, 23-29.
- [Barger et al., 2005] T. S. Barger, D. E. Brown, et M. Alwan, “Health-status monitoring through analysis of behavioral patterns”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 35, iss. 1, 2005.
- [Barnes et al., 1998] N. M. Barnes, N. H. Edwards, D. A. D. Rose, et P. Garner, “Lifestyle monitoring-technology for supported independence”, *Computing & Control engineering Journal*, 1998.
- [Barralon, 2005] P. Barralon, « Classification et fusion de données actimétriques pour la télévigilance médicale », *Thèse de doctorat de l’Université Joseph Fourier - Grenoble 1*, 2005.
- [Benaim et al., 2005] C. Benaim, J. Froger, B. Compan et J. Pélissier, « Evaluation de l’autonomie de la personne âgée », *Annales de réadaptation et de médecine physique*, 48, 336-340, 2005.
- [Bonhomme et al., 2007] S. Bonhomme, E. Campo, D. Esteve, et J. Guennec, “An extended PROSAFE platform for elderly monitoring at home”, *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, pp. 4056 – 4059, 2007.
- [Bonhomme et al., 2008] S. Bonhomme, E. Campo, D. Estève, et J. Guennec, “PROSAFE-extended, a telemedicine platform to contribute to medical diagnosis”, *Journal of Telemedicine and Telecare*, vol. 14, num. 3, pp. 116-119, april 2008.

- [Bowman et Azzalini, 1997] A. W. Bowman, et A. Azzalini, “Applied Smoothing Techniques for Data Analysis”, *Oxford University Press*, 1997.
- [Brutel, 2002] C. Brutel, « La population de la France métropolitaine en 2050 : un vieillissement inéluctable », *Revue Economie et statistique*, n° 355-356, 2002.
- [Cambois et al., 2003] E. Cambois, et J.-M. Robine, « Vieillesse et restrictions d’activité : l’enjeu de la compensation des problèmes fonctionnels », *Études et Résultats*, n° 261, septembre 2003, DREES.
- [Cambois et al., 2004] E. Cambois, et A. Lièvre, « Risques de perte d’autonomie et chances de récupération chez les personnes âgées de 55 ans ou plus : une évaluation à partir de l’enquête Handicaps, incapacités, dépendance », *Études et Résultats*, n° 349, novembre 2004, DREES.
- [Campo et al., 2003] E. Campo, D. Esteve, et M. Chan, « L'apprentissage des pratiques et des habitudes de vie, une clef de l'automatisation domotique », *Revue Signaux*, n°98 , 2003.
- [Campo et al., 2008] E. Campo, S. Bonhomme, M. Chan, et D. Estève, “Remote monitoring of elderly in rural zones using multisensors system and satellite communication”, *International Conference on Smart homes and health Telematics Gerontechnology (ICOST)*, Aimes (USA), 2008.
- [Chan et al., 1995] M. Chan, C. Hariton, P. Ringiard, et N. Campo, “Smart house automation system for the elderly and the disabled”, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics - Intelligent Systems for the 21st Century*, vol. 2, 1995.
- [Chan et al., 2003] M. Chan, E. Campo, et D. Esteve, “PROSAFE, a multisensory remote monitoring system for the elderly or the handicapped”, *1st International Conference On Smart homes & health Telematics (ICOST)*, pp. 89-95, septembre 2003.
- [Chan et al., 2008] 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, iss. 1, july 2008.
- [Chanliau et al., 2005] J. Chanliau, P. Y. Durand, L. Vega, J. P. Thomesse, et F. Charpillet, « Télé-surveillance des patients insuffisants rénaux dialysés », *Journées Francophones d’Informatique Médicale*, Lille 12-13 mai 2005.
- [Colin et Coutton, 2000] C. Colin et V. Coutton, « Le nombre de personnes âgées dépendantes - d’après l’enquête Handicaps, incapacités, dépendance », *Études et Résultats*, n° 94, décembre 2000, DREES.

- [Collège national des enseignants de gériatrie, 2000] Collège national des enseignants de gériatrie, « Chapitre 8 - Autonomie et dépendance », *Corpus de Gériatrie*, Tome 1, 185 p., Janvier 2000, Montmorency: Édition et Communication.
- [Cuddihy et al., 2003] P. Cuddihy, M. Ganesh, C. Graichen, et J. Weisenberg, “Remote monitoring and adaptive models for caregiver peace of mind”, *ASA International Conference on Aging, Disability and Independence*, 2003.
- [Dautzenberg et al., 1997] B. Dautzenberg, F. El-Husseini, I. Lahay, G. Dussard, W. Brossard, et J. L. Rizk, « Analyse de 1 436 journées de télésurveillance de l'oxygénothérapie par le dispositif MEDILINE DOM'O2 dans le cadre de l'expérimentation de télésurveillance du Téléport Paris Ile de France », *Revue des Maladies Respiratoires*, 1997; 14: S 55.
- [Duchêne, 2004] F. Duchêne, « Fusion de données multicateurs pour un système de télésurveillance médicale de personnes à domicile », *Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1*, 2004.
- [Durand et al., 2001] P. Y. Durand, J. Chanliau, A. Mariot, M. Kessler, J. P. Thomesse, L. Romary, F. Charpillet, et R. Hervy, “Telemedicine and dialysis”, *3rd International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Health care Industry – Healthcom 2001*, Italy, 2001.
- [Eenschooten, 2001] M. Eenschooten, « Les personnes âgées en institution en 1998 : catégories sociales et revenus », *Études et Résultats*, n° 108, mars 2001, DREES.
- [Fleury, 2008] A. Fleury, « Détection de motifs temporels dans les environnements multi-perceptifs - Application à la classification automatique des Activités de la Vie Quotidienne d'une personne suivie à domicile par télé-médecine », *Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1*, 2008.
- [Glascock et Kutzik, 2006] A. P. Glascock, et D. M. Kutzik, “The impact of behavioral monitoring technology on the provision of health care in the home”, *Journal of Universal Computer Science*, vol. 12, no. 1, 2006.
- [Glascock et Kutzik, 2007] A. P. Glascock, et D. M. Kutzik, “An evidentiary study of the uses of automated behavioral monitoring”, *Proceedings of the 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07)*.
- [Guinet et al., 2007] A. Guinet, P. Ladet, et E. Marcon, « 2HM : Hospitalisation Hors les Murs, groupe GISEH ; Une question de société, un système/réseau complexe », Journées STP du GDR MACS. ENSAM, Aix en Provence, nov. 2007.

- [Hayes et al., 2004] T. L. Hayes, M. Pavel, et J. A. Kaye, “An unobtrusive in-home monitoring system for detection of key motor changes preceding cognitive decline”, *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, 2004.
- [Hwang et al., 2006] B. S. Hwang, J. M. Choi, et K. S. Park, “A novel method for unobtrusive measurement of indoor activities using sensor-based monitoring system”, *Proceedings of the International Special Topic Conference on Information Technology in Biomedicine – eHealth*, 2006.
- [Insee, 2007] « Bilan démographique 2007 – Evolution de la population », http://www.insee.fr/fr/ffc/pop_age3.htm.
- [Katz et al., 1963] S. Katz, A. B. Ford, R. W. Moskowitz, B. A. Jackson, and M. W. Jaffe, “Studies of illness in the aged: The index of ADL, a standardized measure of biological and psychosocial function”, *Journal of the American Medical Association*, 1963, 185, 914-919.
- [Katz et al., 1970] S. Katz, T. D. Downs, H. R. Cash, and R. C. Grotz, “Progress in development of the index of ADL”, *The Gerontologist*, 1970, p. I, 20-30.
- [Katz, 1983] S. Katz, “Assessing self-maintenance: Activities of daily living, Mobility, and Instrumental activities of daily living”, *Journal of the American Geriatrics Society*, 1983, vol. 31, n° 12, 721-727.
- [Korhonen et al., 2003] I. Korhonen, P. Paavilainen, et A. Särelä, “Application of ubiquitous computing technologies for support of independent living of the elderly in real life settings”, *The 2nd International Workshop on Ubiquitous Computing for Pervasive Healthcare Applications (UbiHealth 2003)*.
- [LeBellego et al., 2005] 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. 9, n° 4, 2005.
- [Liau et al., 2008] W. H. Liau, C. L. Wu, et L. C. Fu, “Inhabitants tracking system in a cluttered home environment via floor load sensors”, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 5, no. 1, 2008.
- [Maglaveras et al., 2001] N. Maglaveras, V. Koutkias, S. Meletiadis, I. Chouvarda et E.A. Balas, “The role of wireless technology in home care delivery”, *Medinfo*, 10 (pt 1) : 835-9, 2001.
- [Mesrine, 2003] A. Mesrine, « Les places dans les établissements pour personnes âgées en 2001-2002 », *Études et Résultats*, n° 263, octobre 2003, DREES.

- [Nambu et al., 2005] M. Nambu, K. Nakajima, M. Noshiro, et T. Tamura, “An algorithm for the automatic detection of health conditions”, *IEEE EMBM*, vol. 24, iss. 4.
- [Nicolas et al., 2005] L. Nicolas, A. Franco et al., « Téléassistance en hospitalisation à domicile, le programme ViSaDom », *La Presse Médicale*, 2005, 34,1059-64.
- [Noury et al., 2000] N. Noury, T. Hervé, V. Rialle, G. Virone, E. Mercier, G. Morey, A. Moro, et T. Porcheron, “Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors”, *The 1st Annual International IEEE EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology*, 2000.
- [Noury et al., 2003] N. Noury, G. Virone, J. Ye, V. Rialle et J. Demongeot, « Nouvelles directions en habitats intelligents pour la santé », *ITBM-RBM*, 2003, 24, 122-135.
- [Noury et al., 2004] N. Noury, A. Dittmar, C. Corroy, R. Baghai, J. Weber, D. Blanc, F. Klefstat, A. Blinowska, S. Vaysse et B. Comet, “Wearable microsystems embedded in a cloth for remote monitoring of physiological signs and activity of a patient - the vtamn project”. *Journal on Communication Engineering*, 2004.
- [Noury, 2005a] N. Noury, “Ailisa : experimental platforms to evaluate remote care and assistive technologies in gerontology”. *Healthcom2005*, p. 155-160, Busan-Korea.
- [Noury, 2005b] N. Noury, « Ailisa : plateformes d'évaluations pour des technologies de télésurveillance médicale et d'assistance en gérontologie ». *Journal Gérontologie et Société*, 2005.
- [Nugent et al., 2008] C. D. Nugent, D. D. Finlay, P. Fiorini, Y. Tsumaki, et E. Prassler, “Home Automation as a Means of Independent Living”, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 5, no. 1.
- [Ogawa et al., 2000a] M. Ogawa, S. Ochiai, K. Shoji, M. Nishihara, et T. Togawa, “An attempt of monitoring daily activities at home”, *Proceedings of the 22nd Annual EMBS International Conference*, 2000.
- [Ogawa et Togawa, 2000b] M. Ogawa, et T. Togawa, “Monitoring daily activities and behaviors at home by using brief sensors”, *Proceedings of the 1st Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology*, 2000.
- [Ogawa et Togawa, 2003a] M. Ogawa, et T. Togawa, “An attempt of computational analysis on remote monitoring of daily activities”, *IEEE EMBS Asian-Pacific Conference on Biomedical Engineering*, 2003.

- [Ogawa et Togawa, 2003b] M. Ogawa, et T. Togawa, “The concept of the home health monitoring”, *Proceedings of the 5th International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry (Healthcom 2003)*.
- [Ohta et al., 2002] S. Ohta, H. Nakamoto, Y. Shinagawa, et T. Tanikawa, “A health monitoring system for elderly people living alone”, *Journal of Telemedicine and Telecare*, vol. 8, 2002.
- [Patterson et al., 2003] D. Patterson, D. Fox, H. Kautz, et M. Philipose, “Expressive, tractable and scalable techniques for modeling activities of daily living”, *The 2nd International Workshop on Ubiquitous Computing for Pervasive Healthcare Applications (UbiHealth 2003)*.
- [Perréal, 2003] F. Perréal, « Gluconet : Télémedecine et suivi thérapeutique du patient diabétique », *12èmes Journées des Technologies de Communication Hospitalière*, 19 et 20 juin 2003.
- [Pigot et al., 2003] H. Pigot, A. Mayers, et S. Giroux, “The role of intelligent habitats in upholding elders in residence”, *The 5th International Conference on Simulations in Biomedicine (BIOMEDICINE 2003)*.
- [Rabiner, 1989] L. R. Rabiner, “A tutorial on Hidden Markov Models and selected applications in speech recognition”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, n° 2, 1989.
- [Rialle et al., 2001] V. Rialle, N. Noury, et T. Hervé, “An experimental Health Smart Home and its distributed Internet-based information and communication system: first steps of a research project”, *Medinfo2001*, Londres, sept.2001.
- [Robert-Bobée, 2006] I. Robert-Bobée, « Projections de population pour la France métropolitaine à l’horizon 2050 - La population continue de croître et le vieillissement se poursuit », *Insee Première*, n°1089, juillet 2006.
- [Russo et al., 2004] J. Russo, A. Sukojo, A. S. Helal, R. Davenport, et W. C. Mann, “SmartWave – “Intelligent meal preparation system to help older people live independently. *2nd International Conference On Smart homes and health Telematic*, 2004.
- [Scanail et al., 2006] 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, no. 4, 2006.
- [Sebastiani, 2002] F. Sebastiani, “Machine learning in automated text categorization”, *ACM Computing Surveys*, vol. 34, no. 1, pp. 1-47, 2002.

- [Site travail.gouv.fr, 2007] Document de l'Allocation Personnalisée d'Autonomie <http://www.travail.gouv.fr/espaces/personnes-agees/grands-dossiers/allocation-personnalisee-autonomie-apa/apa-mode-emploi-mise-oeuvre-statistiques-publications.html>.
- [Sixsmith, 2000] A. J. Sixsmith, "An evaluation of an intelligent home monitoring system", *Journal of Telemedicine and Telecare*, vol. 6, 2000.
- [Steenkeste et al., 2001] F. Steenkeste, H. Bocquet, M. Chan, et E. Campo, « La mise en place d'une technologie pour observer le comportement nocturne des personnes âgées en institution », *ITBM-RBM*, 2001, 22, 25-30.
- [Stefanov et al., 2004] D. H. Stefanov, Z. Bien, et W. C. Bang, "The Smart House for Older Persons and Persons With Physical Disabilities: Structure, Technology Arrangements, and Perspectives", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 12, no. 2, 2004.
- [Suzuki et al., 2006] R. Suzuki, M. Ogawa, S. Otakez, T. Izutsuz, Y. Tobimatsuy, T. Iwaya, et S. I. Izumiww, "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, 2006.
- [Tamura et al., 1998] T. Tamura, T. Togawa, M. Ogawa, et M. Yoda, "Fully automated health monitoring system in the home", *Medical Engineering & Physics*, vol. 20, iss. 8, 1998.
- [Thomesse et al., 2001] J. P. Thomesse, D. Bellot, A. Boyer, E. Campo, M. Chan, F. Charpillet, J. Fayn, C. Leschi, N. Noury, V. Rialle, L. Romary, P. Rubel, N. Selmaoui, F. Steenkeste, and G. Virone, "Integrated Information Technologies for patients remote follow-up and homecare", *Healthcom 2001*.
- [Tsukamoto et al., 2007] S. Tsukamoto, Y. Machida, et N. Kameda, "Easily installable behavioral monitoring system with electric field sensor", *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, 2007.
- [Virone et al., 2002] 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, iss. 12, 2002.
- [Virone et al., 2003a] G. Virone, B. Lefebvre, N. Noury et J. Demongeot, "Modeling and computer simulation of physiological rhythms and behaviors at home for data fusion

- programs in a telecare system”. *Proceedings of the 5th International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry, (Healthcom 2003)*.
- [Virone, 2003b] G. Virone, « Architecture et simulation locales du système d'information domotique-santé intégré à domicile (SID²) pour la détection de situations à risque et l'aide à la décision », *Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1*, 2003.
- [West et al., 2005] G. West, S. Greenhill, et S. Venkatesh, “A probabilistic approach to the anxious home for activity monitoring”, *Proceedings of the 29th Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC'05)*.
- [Wilson, 2005] D. H. Wilson, “Assistive intelligent environments for automatic health monitoring”, *Thèse de doctorat de Carnegie Mellon University*, 2005.
- [Yamaguchi et al., 1998] A. Yamaguchi, M. Ogawa, T. Tamura, et T. Togawa, “Monitoring behavior in the home using positioning sensors”, *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, vol. 20, no. 4, 1998.