

**Étude et conception d'un système de personnalisation et d'aide fonctionnelle
multi-agents permettant d'assister simultanément de manière transparente les
activités de vie quotidienne de multiples personnes dans un Habitat
Intelligent pour la Santé**

par

Matthieu Castebrunet

Thèse en cotutelle présentée

au Département d'informatique en vue
de l'obtention du grade de Philosophia doctor (Ph. D.)
FACULTÉ DES SCIENCES, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

aux Laboratoires TIMC-IMAG et à l'École Doctorale MDTII en vue
de l'obtention du grade de Docteur de l'université de Grenoble,
Spécialité Informatique
UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Mai 2011



Library and Archives
Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence
ISBN: 978-0-494-83334-6

Our file Notre référence
ISBN: 978-0-494-83334-6

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

Canada



UNIVERSITÉ DE GRENOBLE
UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE



THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE GRENOBLE
Spécialité **Informatique**

Préparée dans le cadre d'une cotutelle entre
L'UNIVERSITE DE GRENOBLE et L'UNIVERSITE DE SHERBROOKE

Arrêtés ministériels : 6 janvier 2005 - 7 août 2006

Présentée et soutenue publiquement par

Matthieu CASTEBRUNET

le 13 décembre 2010

Étude et conception d'un système de personnalisation et d'aide fonctionnelle multi-agents permettant d'assister simultanément de manière transparente les activités de vie quotidienne de multiples personnes dans un Habitat Intelligent pour la Santé.

Thèse dirigée par **Vincent Rialle** et codirigée par **Sylvain Giroux**

JURY

Civilité/Nom/Prénom	Fonction et lieu de la fonction	Rôle
- M. Boissier Olivier	PR – EMSE	Président
- M. Rialle Vincent	MCU – U. de Grenoble	Examineur
- M. Giroux Sylvain	PR – U. de Sherbrooke	Examineur
- M. Frappier Marc	PR – U. de Sherbrooke	Examineur
- M. Vuillerme Nicolas	MCU – U. de Grenoble	Examineur
- Mme Guessoum Zahia	MCU – U. de Reims	Rapporteur
- Mme Gleizes Marie-Pierre	PR – IRIT	Rapporteur

Thèse préparée au sein des **Laboratoires TIMC-IMAG et DOMUS**
et de l'**Ecole Doctorale MSTII**

Le 24 mai 2011

*le jury a accepté la thèse de Monsieur Matthieu Castebrunet
dans sa version finale.*

Membres du jury

Professeur Sylvain Giroux
Directeur de recherche
Département d'informatique
Université de Sherbrooke

Professeur Vincent Rialle
Directeur de recherche
Laboratoire TIMC-IMAG
Université de Grenoble

Professeur Marc Frappier
Évaluateur
Département d'informatique
Université de Sherbrooke

Professeur Nicolas Vuillerme
Évaluateur
Laboratoire TIMC-IMAG
Université de Grenoble

Professeur Zahia Guessoum
Rapporteur
Goupe SIC CReSTIC-MODECO
Université de Reims

Professeure Marie-Pierre Gleizes
Rapporteur
Institut de Recherche en Informatique de Toulouse
Université Paul Sabatier

Professeur Olivier Boissier
Président rapporteur
ISCOD LSTI
École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne

Résumé

Le domaine d'application de ce doctorat est la recherche relative aux appartements intelligents pour la santé. Plus précisément, les travaux portent sur l'étude et la conception d'un système pour permettre l'amélioration de la vie quotidienne des personnes atteintes de déficiences cognitives. Ce système surveille au moyen de capteurs anonymes l'état et le contexte de chaque personne, personnalise leur environnement et assiste au besoin les tâches courantes. Les actions de ce système sont intégrées intimement dans un environnement multi personnes.

Afin de personnaliser l'environnement et d'assister les tâches de la vie quotidienne pour une personne, il faut connaître précisément son contexte. Dans le cas d'une personne seule, ce contexte dépend principalement de ses habitudes et ses préférences, de sa maladie ou son handicap, de ses déplacements dans l'appartement, de l'état des divers agents d'environnement (qui gèrent par exemple les appareils électroniques) et de la perception de ses activités (téléphoner, préparer à manger, regarder la télévision...).

Dans le cadre de ce doctorat, la présence simultanée de plusieurs personnes dans l'appartement est prise en compte. Cela complique considérablement la chaîne d'assistance et de personnalisation. Il faut en effet pouvoir localiser plusieurs personnes en temps réel, les identifier pour pouvoir adapter l'environnement à leurs besoins et les assister selon leur contexte. Le contexte d'une personne en particulier est également complexifié puisqu'il faut le considérer en fonction des contextes de toutes les personnes présentes. L'assistance et la personnalisation de l'environnement pour chaque personne nécessitent la connaissance de ce contexte.

Mots-Clés : systèmes multi-agents, habitats intelligents, personnalisation, localisation, assistance, contexte.

Abstract

The application domains of this thesis are Health Smart Homes, and the research is more precisely centered on the improvement of daily-living for cognitively impaired persons and their caregivers. The proposed system can observe the context of each person, personalize the environment and assist the tasks detected if they need to be. Every action of the system is as unobtrusive as possible and takes into consideration the presence of more than one person.

To personalize and assist the daily-living activities of a lone person, we need to know his personal context. This context is the conjunction of the preferences and habits, the illness or impairment, the movements in the smart home and the state of the various sensor and electrical devices, and the current activities that are detected for one person.

To be able to assist many persons simultaneously, we need to compute the overall conjunction of each and every person's context since every presence can influence the global context and every personal one. This complexity brings a lot of problems like the multiple person localization and identification, or the personalization and assistance of multiple persons in the same space with various activities. Those problems are even more interesting since, following an ethical choice to ensure inhabitant's privacy, this project avoid the use of some intrusive technologies.

Key words: multiagent systems, smart homes, personalization, localization, assistance, context.

Remerciements

Aussi bien dans le déroulement de la thèse que pendant la rédaction du mémoire ou la soutenance, de nombreuses personnes m'ont apporté leur aide, leur soutien, ou juste le petit quelque chose qui m'a fait rebondir et m'a soufflé de nouvelles idées. Je souhaite les en remercier sincèrement.

Je souhaiterais en premier lieu remercier mes deux directeurs de recherche. Une thèse en cotutelle n'est pas toujours facile à encadrer. Merci à Vincent Rialle, Docteur ès sciences en éthique et biologie médicale pour sa bonne humeur, sa confiance, et ses idéologies éthiques qui ont donné une dimension supplémentaire à cette thèse. Merci à Sylvain Giroux, Professeur en Informatique pour sa gentillesse et son humour, ses conseils et les nombreuses discussions à rebonds qui génèrent tant d'idées. Plusieurs moments de doute ont été surmontés grâce à ces réflexions et ces encouragements.

Merci à mes rapporteurs, Dr. Zahia Guessoum et Professeur Marie-Pierre Gleizes, d'avoir accepté d'évaluer mon travail et d'en avoir proposé des améliorations. Merci aux membres de mon jury pour leur présence et leurs commentaires.

Olivier Boissier et son équipe (particulièrement Jomi Hübner et Rosine Kitio) ont été d'une aide précieuse lors de la spécification organisationnelle de mon système. J'ai énormément apprécié les rencontres et les journées de travail, de discussion et de réflexion. Je les remercie chaleureusement. J'ajoute un remerciement supplémentaire pour Olivier, qui en plus de son encadrement volontaire, a accepté de présider mon jury.

Merci à tous les membres de l'équipe AFIRM du laboratoire TIMC-IMAG pour leur soutien, particulièrement à Yannick pour son aide et ses conseils pour ma soutenance. Un merci particulier revient à Dominique Moreira, assistante administrative

de mon école doctorale, pour sa patience et sa tolérance aux aléas d'une cotutelle internationale.

Le laboratoire DOMUS a été une deuxième maison pour moi. De par leur accueil, leur gentillesse et leur disponibilité, tous ses membres, professeurs, professionnels de recherche et étudiants, ont facilité l'aboutissement de cette thèse. Merci à Francis pour son accueil, Jean-Paul pour son aide et son amitié, Patrice pour son aide dans ma démo, Charles, Pierre, Céline, Nicolas, et tous ceux que j'oublie mais qui ont participé à faire de ce laboratoire un endroit particulier, un terrain d'entraide et d'humour, de travail et de plaisir.

Je tiens bien sûr à remercier toute ma famille pour sa présence et son support. En particulier un gros remerciement va à ma sœur Hélène pour ses sorties au grand air qui épuisent le corps pour mieux réfléchir et son aide ainsi que celle d'Arthur lors des dernières phases de rédaction et de soutenance. Un gros merci également pour mes parents pour leur soutien et leur aide durant toute ma thèse et ma rédaction, particulièrement mon père pour toutes les relectures et les corrections d'anglicismes qui auraient sans doute encore un peu plus jonché ce mémoire sans son aide. Merci à Judith d'avoir été avec moi, de m'avoir soutenu et encouragé dans les moments durs et de me donner l'équilibre que je cherchais.

Enfin je tiens à adresser mes remerciements aux organismes qui m'ont permis financièrement de réaliser ce projet de recherche : Le ministère de la recherche pour le financement de mon doctorat et le programme de valorisation des thèses en cotutelle entre la France et Québec.

Et puis bien sûr tous mes remerciements aux gens méritant que je n'ai pas cités pour leur tolérance à ma non exhaustivité ...

Table des matières

Résumé	iii
Abstract	iv
Remerciements	v
Table des matières	vii
Liste des tableaux	xi
Liste des figures.....	xiii
Liste des acronymes	xv
Introduction	1
Chapitre 1 – Problématique : Des espaces et des Hommes.....	7
1.1 Troubles cognitifs et maintien à domicile.....	8
1.2 Les Habitats Intelligents pour la Santé	10
1.3 Le contexte d’assistance	13
1.4 La personnalisation de l’environnement	15
1.5 Conclusion	17
Chapitre 2 – État de l’art : Des technologies pour le domicile et l’autonomie ..	19
2.1 La reconnaissance d’activités	20
2.1.1 Les principes de la reconnaissance d’activités.....	20
2.1.2 Les approches de reconnaissance d’activités.....	22
2.1.3 Solutions retenues pour la reconnaissance d’activités	23
2.2 L’interaction avec l’environnement	25

2.2.1	Les habitats intelligents.....	25
2.2.2	Les capteurs : sources de connaissance	28
2.2.3	Les effecteurs et les profils	31
2.2.4	Solutions d'interactions retenues	34
2.3	La gestion multi-personnes	35
2.3.1	Localisation et identification multiple	35
2.3.2	Gestion de profils et de conflits	38
2.3.3	Solutions de gestion multi-personnes retenues	40
2.4	L'architecture du système	41
2.5	Synthèse des solutions retenues	44
2.5.1	Inspirations.....	44
2.5.2	Solution retenue	46
Chapitre 3 – Méthodologie : pour une personnalisation de l'environnement		47
3.1	Scénarisation et analyse des objectifs	48
3.1.1	Les zones de l'habitat.....	48
3.1.2	La distribution des rôles dans les scénarios	50
3.1.3	Les activités décrites dans les scénarios	52
3.1.4	Scénarios	54
3.1.4.1	Un résident et plusieurs activités	55
3.1.4.2	Un résident avec plusieurs visiteurs et gestion de la vie privée.....	56
3.1.4.3	Entrée d'un résident, visite de l'infirmière et personnalisation	58
3.1.4.4	Cohabitation de deux résidents et gestion de conflits	60
3.1.4.5	Changement d'espace pour un résident	61
3.2	Méthodologie et choix de mise en œuvre	63
3.2.1	Détection humaine	63
3.2.2	Personnalisation et assistance	65
3.2.3	Outils choisis et organisation.....	67
3.2.4	Limites de conception	68
3.3	Conclusion	70

Chapitre 4 – Architecture: ICEMAS	71
4.1 Détection humaine	72
4.1.1 La localisation d'une personne	72
4.1.2 La localisation multi-personnes	75
4.1.3 Les conflits de localisation.....	80
4.1.4 L'identification des personnes	85
4.1.5 Conclusion	87
4.2 Profils, personnalisation et assistance	88
4.2.1 Les profils : une mémoire évolutive pour la transparence de l'assistance.....	88
4.2.2 Les conflits de profils'.....	91
4.2.3 Des jugements répartis	94
4.2.4 Conclusion	97
4.3 Organisation et adaptabilité	98
4.3.1 Fonctionnement général et formalisme.....	98
4.3.2 Spécification Structurelle.....	101
4.3.3 Spécification Fonctionnelle	104
4.3.4 Spécification d'interactions	107
4.3.5 Spécification Déontique.....	110
4.3.6 Spécifications d'Implémentation	111
4.3.7 Des environnements pour des personnes	114
4.3.8 Conclusion	121
4.4 Détails d'implémentation.....	122
4.4.1 Informations de code et détails techniques	123
4.4.2 L'agent de données	124
4.4.3 Les agents de ressources	126
4.4.4 L'agent personnel.....	127
4.4.5 Les agents d'environnement	129
4.4.6 L'agent d'assistance.....	130
4.4.7 Les agents de monitoring.....	132

4.4.8	Le système en fonctionnement.....	132
4.5	Conclusion	134
Chapitre 5 – Résultats et discussion		135
5.1	Hypothèses et limites	135
5.2	Tests des scénarios.....	138
5.2.1	Un résident et plusieurs activités	138
5.2.2	Un résident avec plusieurs visiteurs et gestion de la vie privée.....	140
5.2.3	Entrée d'un résident, visite de l'infirmière et personnalisation	141
5.2.4	Cohabitation de deux résidents et gestion de conflits.....	143
5.2.5	Changement d'espace pour un résident	144
5.3	Discussion et améliorations	146
5.4	Apports sur le plan scientifique	150
5.4.1	Apport pour les habitats intelligents	150
5.4.2	Apport pour les profils multiples	151
5.4.3	Apport pour les systèmes multi-agents	152
5.5	Apports sur le plan humain.....	155
5.5.1	La transparence de l'assistance	155
5.5.2	La gestion de multiples personnes	156
5.5.3	Les personnes et leur entourage.....	157
Chapitre 6 – Conclusion		159
Bibliographie		163
Annexes		175
Annexe 1 : Un logiciel pour la configuration des capteurs.....		177
Annexe 2 : Les capteurs du DOMUS		181

Liste des tableaux

Tableau 1 : Exemples de capteurs anonymes	29
Tableau 2: Capteurs de localisation identifiant en deux parties	30
Tableau 3 : Exemples d'effecteurs avec leurs emplacements et utilisations	31
Tableau 4 : Une personne présente, plusieurs activités.	56
Tableau 5 : Un résident, des visiteurs.	57
Tableau 6 : Un résident, une infirmière, gestion de l'emploi du temps	59
Tableau 7 : Deux résidents, des conflits.	60
Tableau 8 : Changement d'espace et personnalisation externe conflictuelle.....	62
Tableau 9 : Traitement des événements sans synchronisation.....	79
Tableau 10 : Traitement des événements avec synchronisation	79
Tableau 11 : Extrait de spécification déontique : rôles et missions	110
Tableau 12 : Extrait de spécification déontique : missions, protocoles et liens d'interaction	111

Liste des figures

Figure 1 : Plan de l’HIS de DOMUS	49
Figure 2 : Extrait en formalisme XML du profil de René : Assistance des tâches.....	51
Figure 3 : Tapis tactiles et détecteur de mouvement du salon	75
Figure 4 : Localisation et suivi de deux personnes.....	78
Figure 5 : Localisation, particules et surfaces des possibles dans le laboratoire DOMUS.....	81
Figure 6 : Message d’intention de Jeanne pour les autres agents personnels	83
Figure 7 : Extrait de profil de Jeanne : Préférences	90
Figure 8 : Extrait de profil de Jeanne : Agenda	91
Figure 9 : Spécification structurelle du système multi-agents régissant un habitat intelligent	103
Figure 10 : Spécification fonctionnelle de la personnalisation de l’environnement pour une personne P et son activité en cours A	105
Figure 11 : Spécification fonctionnelle de la connaissance du contexte d’une personne P...	106
Figure 12 : Spécification fonctionnelle de l'identification des effecteurs (<i>devices</i>) utiles.....	106
Figure 13 : Spécification fonctionnelle de la résolution de conflits pour une activité A.....	107
Figure 14 : Diagramme de séquence pour le début du scénario 3.1.4.1	108
Figure 15 : Multi-personne et ajustement de l'environnement.....	109
Figure 16 : Spécification structurelle de l'organisation locale	116

Figure 17 : Spécification structurelle de l'organisation personnelle	117
Figure 18 : Spécification structurelle résultant de l'imbrication des organisations locale et personnelle par l'intermédiaire d'une organisation relationnelle	119
Figure 19 : Vue globale des agents dans l'HIS.....	122
Figure 20 : Sélection du capteur 0213 dans la liste de capteurs de Domus-Sensor-Handler.	177
Figure 21 : Informations d'un interrupteur, d'un tapis tactile et d'un détecteur de présence.	178
Figure 22 : Service web non disponible.....	179
Figure 23 : Capteur de présence du salon	181
Figure 24 : Tapis tactile du couloir entre la cuisine et l'entrée.....	181
Figure 25 : Capteur de contact de la porte d'entrée	182
Figure 26 : Matrice de connexion physique des capteurs de l'appartement	182

Liste des acronymes

- ICEMAS : Intelligence and Communications in the Environment with a MultiAgents System
- AFIRM : Acquisition, Fusion d'Information et Réseaux pour la Médecine
- TIMC-IMAG : Techniques de l'Ingénierie Médicale et de la Complexité - Informatique, Mathématiques et Applications de Grenoble (Grenoble, Isère, France)
- HIS : Habitat Intelligent pour la Santé
- PLC : Programmable Logic Controller
- RFID : Radio Frequency IDentification
- UWB : UltraWide Band
- LCD : Liquid Crystal Display
- DEL - LED : Diode ElectroLuminescente – Light-Emitting Diode
- JADE : Java Agent DEvelopment framework
- FIPA : Foundation for Intelligent Physical Agents

Introduction

Le vieillissement croissant de la population, particulièrement en Europe et en Amérique du Nord, entraîne une augmentation importante du nombre de patients souffrant de maladies cognitives comme la maladie d'Alzheimer et les maladies apparentées. Dans la plupart des pays industrialisés, mais aussi dans les pays en voie de développement, l'espérance de vie et la proportion des personnes âgées de plus de 65 ans ne cessent d'augmenter. Des études statistiques prévoient qu'en 2030, plus de 60 pays compteront deux millions ou plus de personnes âgées de plus de 65 ans [Kinsella et Velkoff, 2001]. Le déclin cognitif est une préoccupation majeure pour cette couche de la population. Un rapport sur la progression de la maladie d'Alzheimer, publié en 2005 par l'institut national du vieillissement aux Etats-Unis [NIA, 2010], prévoit le chiffre de 4,5 millions d'Américains atteints d'une maladie d'Alzheimer ou apparentée. Ce rapport annonce aussi le doublement de la prévalence de la maladie par paliers de 5 ans à partir de 65 ans. De même, à l'échelle nationale, une enquête statistique de France Alzheimer prévoit près de 1,3 million de personnes atteintes d'Alzheimer en France d'ici 2020, soit une personne de plus de 65 ans sur quatre [France Alzheimer, 2010]. C'est un problème d'ordre socio-économique majeur [Comyn *et al.*, 2006, Rialle, 2007b], d'autant qu'il est difficile de trouver suffisamment d'aidants, naturels ou professionnels, pour intervenir [Fouquet *et al.*, 2010] et fournir l'assistance nécessaire et ainsi garantir une vie la plus normale possible à ces personnes.

Les Habitats Intelligents pour la Santé (HIS) ont été conçus dans ce but [Pigot *et al.*, 2003, Tang et Venables, 2000, Rialle *et al.*, 2002, Demongeot *et al.*, 2002]. La plupart des projets de recherche qui émergent des HIS ont pour objectifs de maintenir et

d'améliorer l'autonomie des personnes atteintes de déficiences cognitives, facilitant et soulageant alors la tâche des aidants. Des concepts clefs peuvent en être extraits : *L'Habitat Intelligent pour la Santé*, *Ambient Assisted Living* ou encore *Gérontechnologie* [Couturier, 2006, Rialle *et al.*, 2007, Franco *et al.*, 2010]. Leur objectif principal est l'augmentation de la sécurité d'une personne à son domicile, en perfectionnant l'adaptation de son environnement à ses handicaps ou incapacités [Stip et Rialle, 2005] au moyen de nouvelles technologies [Rialle et Ollivet, 2007, Pigot *et al.*, 2006].

Le domaine des HIS est en pleine expansion. Les responsables des politiques de santé et de solidarité nationale sollicitent plus que jamais les chercheurs et créateurs d'HIS (particulièrement en France) afin de rendre ceux-ci fonctionnels et utilisables au quotidien [Plan Alzheimer 2008-2012 (mesure n°7), Rapport Lasbordes 2009, Rapport « Vivre chez soi » 2010]. De plus, ces systèmes sont appelés à être connectés à une infrastructure générique standardisée telle que celle proposée par Michèle Debonneuil [Debonneuil 2010] afin qu'ils puissent jouer pleinement et à grande échelle leur rôle de facilitateurs de soins et d'amélioration de la qualité de vie de leurs résidents. Une abondante littérature existe pour proposer des solutions, mais la plupart décrivent des habitats ou des solutions qui ne prennent en compte qu'une seule personne à la fois. L'utilisation de nouvelles technologies ne devrait pas décourager la vie en couple, avec un animal de compagnie ou simplement les activités sociales [Rialle, 2007a]. Pour offrir une solution réaliste et conviviale, il faut prendre en compte la présence simultanée de plusieurs personnes dans l'appartement et les caractéristiques qui les différencient.

Ce travail de doctorat propose une solution qui permet d'assister de manière transparente la vie des personnes dans un appartement intelligent. Cette assistance reste

la plus discrète et la plus automatisée possible. Pour chaque personne présente dans l'appartement, le système peut suivre cette personne dans ses déplacements, personnaliser l'appartement en fonction de ses besoins, déclencher les processus d'assistance le cas échéant et tout cela en tenant compte du profil de la personne (sa maladie, ses préférence) et des autres personnes présentes dans l'appartement.

Le profil de chaque personne représente le recueil d'informations pertinentes pour cette personne. Ce profil permet aux effecteurs (écran, hauts-parleurs...) de l'appartement d'adapter l'environnement à la personne en fonction de sa localisation dans l'espace et de faciliter ses activités de la vie quotidienne. Un exemple d'application de la personnalisation est la modulation de l'assistance à apporter en fonction du lieu, de l'activité, des profils et généralement de toutes les autres informations que l'on peut répertorier dans l'environnement : par exemple la présence et l'activité d'autres personnes. L'ensemble des informations perceptibles par un système d'assistance dans l'environnement est appelé le contexte. Les problèmes qui se posent sont nombreux, puisque le contexte change perpétuellement et que des conflits (par exemple quand plusieurs effecteurs sont sollicités pour des personnes différentes) surgissent très rapidement.

Les problématiques de ce projet de recherche sont nombreuses et couvrent des domaines très différents. Nous voulons pouvoir personnaliser l'environnement et assister plusieurs personnes à la fois dans un espace intelligent, sans mettre en péril le respect de leur vie privée. Pour cela il nous faut comprendre et définir la personnalisation et l'assistance, savoir quelles technologies utiliser dans l'environnement, apprendre comment détecter les personnes, les localiser, les identifier, connaître leurs profils et enfin lancer la personnalisation. Au travers de ces questions,

d'autres problèmes se posent de par la cohabitation de plusieurs personnes et les conflits de localisation, d'identification, de personnalisation et d'assistance. Ces objectifs nous incitent à proposer une preuve de concept qui tente de répondre à ces questions en présentant une solution possible.

Ce mémoire de doctorat décrit la conception et l'implémentation d'un système qui relie tous les maillons d'une chaîne de personnalisation de l'environnement pour plusieurs personnes en même temps. Nous y décrivons plus en détail la problématique du sujet, les hypothèses, la méthodologie, les réalisations saillantes, les résultats ainsi que les voies futures ouvertes par ce projet de recherche.

Le Chapitre 1 développe la problématique humaine approfondie de ce sujet en abordant en premier lieu la problématique générale du maintien à domicile des personnes atteintes de troubles cognitifs (1.1), puis définit les Habitats Intelligents pour la Santé (1.2). On étudie plus particulièrement tous les paramètres qui synthétisent le contexte d'assistance dans la section 1.3, puis les besoins et les possibilités en matière de personnalisation de l'environnement en section 1.4, avant de conclure en résumant les besoins humains et les solutions proposées dans le cadre des Habitats Intelligents pour la Santé (1.5).

Le Chapitre 2 présente les états de l'art des technologies d'assistance. Nous décrivons les principes qui sont les fondements de l'assistance, comme la reconnaissance d'activités (2.1) et les interactions avec l'environnement (2.2). Après l'ajout de la problématique de gestion de multiples personnes dans un espace (2.3), nous explorons les possibilités d'architecture du système proposé (2.4), avant de terminer par une synthèse des éléments retenus (2.5).

Le Chapitre 3 propose l'analyse et l'étude de la personnalisation de l'environnement en présentant des scénarios qui seront utilisés tout au long du document pour introduire certains concepts et illustrer certains problèmes. La section 3.1 décrit la scénarisation et l'analyse des objectifs, présentant le contexte expérimental, les objectifs prévus et les scénarios utilisés tout au long de cette recherche. La section 3.2 établit la méthodologie suivie et les choix de mise en œuvre en terme de détection humaine, de personnalisation, d'assistance et d'organisation en inférant les limites acceptées du domaine et des choix effectués, notamment les choix de capteurs non intrusifs qui limitent l'identification et donc la précision, et les limites dans les médias de communications pour respecter les résidents. Une conclusion (3.3) établit les parallèles entre les objectifs et la méthodologie proposée.

Le Chapitre 4 décrit en détail l'implémentation proposée dans cette thèse. La section 4.1 présente l'étude et la conception des modules de détection humaine (localisation et identification des personnes). La section 4.2 énonce les travaux entrepris afin de répondre aux besoins de gestion de profils pour la personnalisation de l'environnement dans le cas où plusieurs personnes sont présentes ; on y décrit les mécanismes de transparence de l'assistance. La section 4.3 propose le modèle d'organisation conçu pour le système en détaillant la spécification organisationnelle d'un système multi-agents qui permet la cohabitation de plusieurs personnes et la personnalisation de l'environnement en parallèle pour chacune d'elle. Une modification de ce modèle permet ensuite la gestion de plusieurs espaces pour plusieurs personnes. La section 4.4 décrit l'implémentation de la preuve de concept de cette recherche. Une conclusion (4.5) explique certains choix et propose une évaluation de l'implémentation face aux objectifs prévus.

Le Chapitre 5 présente les résultats obtenus dans la phase expérimentale de cette recherche. La section 5.1 rappelle tout d'abord les objectifs, les hypothèses de fonctionnement et les limites prévues, puis la section 5.2 rapporte en détail les résultats des tests appliqués aux scénarios, comparant les hypothèses formulées aux réponses réelles du système. Une conclusion synthétise les résultats (5.3) et propose une discussion de l'existant et des améliorations possibles. La section 5.4 décrit les apports scientifiques pour les appartements intelligents, la gestion des profils et les systèmes multi-agents. La section 5.5 fait le point sur les apports positifs d'une telle solution qui propose une assistance transparente pour de multiples personnes : aussi bien pour des personnes atteintes de troubles cognitifs ou physiques que pour les aidants naturels ou professionnels qui apportent l'aide et le contact humain nécessaires à une vie la plus normale possible.

Le Chapitre 6 synthétise les contributions de ce travail, établit une critique des réalisations et des résultats, explore les extensions et possibilités du système et propose des pistes pour les travaux futurs. Cette conclusion est suivie d'une bibliographie et de deux annexes qui décrivent un logiciel conçu pour le réglage des capteurs du laboratoire et présentent certains des capteurs utilisés dans l'implémentation.

Chapitre 1 – Problématique : Des espaces et des Hommes

Ce premier chapitre aborde les grands thèmes de recherche de ce doctorat. La problématique humaine de laquelle découlent les besoins de cette recherche est abordée dans la première section (1.1) afin de mieux comprendre les contraintes et les choix proposés dans la suite. Le contexte dans lequel les hypothèses et les solutions sont proposées est ensuite décrit : tout d'abord physiquement dans les Habitats Intelligents pour la Santé (1.2), puis humainement en décrivant les détails particuliers liés à l'assistance des personnes (1.3). Pour pouvoir assister une personne dans un appartement intelligent et personnaliser son environnement afin de lui faciliter la réalisation des tâches de la vie quotidienne, il est nécessaire de recueillir des informations sur l'état de l'environnement et de pouvoir interagir avec les personnes elles-mêmes en leur transmettant de l'information ou en agissant directement sur l'environnement. La section 1.4 présente cette personnalisation de l'environnement et ses implications. Une conclusion (1.5) résume les problématiques décrites dans ce chapitre.

1.1 Troubles cognitifs et maintien à domicile

Comme mentionné dans l'introduction, le vieillissement de la population, inhérent à l'augmentation de l'espérance de vie, lance un défi majeur à nos sociétés : comment accompagner nos aînés dans leurs vieux jours ? Dans cette tranche de population, beaucoup de personnes demeurent heureusement en bonne santé et autonomes mais un certain nombre d'entre elles sont atteintes de maladies dégénératives évolutives. Ces personnes, comme celles souffrant de troubles cognitifs consécutifs à une maladie ou un accident, nécessitent une aide ponctuelle voire une assistance continue. Dans le cadre de cette recherche, on se focalisera essentiellement sur les personnes requérant des assistances ponctuelles. Le maintien à domicile de ces personnes est souvent préférable à un placement déstabilisant en établissement spécialisé ou en maison de retraite mais ce maintien demande une assistance leur permettant de vivre dans un habitat adapté et sécurisé.

Les personnes en perte d'autonomie qui vivent ensemble (en couple par exemple) peuvent retarder ce besoin d'assistance un peu plus longtemps. L'un et/ou l'autre pallierait au déficit d'attention, d'initiation ou de planification [Zhang et al., 2004, Pigot et al., 2005] du conjoint défaillant. Cette situation n'est souvent que temporaire et des solutions sont prévues afin d'apporter une assistance à plusieurs personnes dans un même espace, ce qui permet de les maintenir dans leur environnement familial.

Les aidants, naturels ou professionnels, forment la réponse humaine au problème de maintien à domicile de ces personnes en perte d'autonomie. Les aidants naturels sont les membres de la famille ou les amis proches qui prennent en charge la personne déficiente et comblent par leurs actions les incapacités physiques ou cognitives éventuelles. Un exemple courant est celui des enfants accueillant leurs parents sous leur toit afin de leur permettre de maintenir un niveau de vie active plus élevé ou pour éviter

les coûts parfois prohibitifs des maisons de retraite. Les aidants professionnels s'occupent de plusieurs personnes à la fois, simplifiant, rappelant ou accompagnant la personne aidée dans la réalisation des tâches de la vie quotidienne comme le ménage, la toilette, les commissions ou les rendez-vous importants. Le but des solutions technologiques n'est pas ici de remplacer cette assistance humaine mais bien au contraire de la soutenir en apportant une aide complémentaire, tout en facilitant la tâche des aidants. Pour pouvoir ainsi soulager la charge des aidants et simplifier les tâches de la vie quotidienne de ces personnes en perte d'autonomie, les solutions technologiques doivent également pouvoir apporter leur assistance à plusieurs personnes en même temps. D'autre part, elles doivent fournir une aide adaptée à chaque besoin, que ce soit pour la réalisation des tâches pour les personnes aidées ou pour la planification et la communication pour les aidants.

Une assistance adaptée à chaque besoin, c'est également une réponse à une autre problématique : il existe un très grand nombre de troubles cognitifs différents et, même au sein d'une population comparable, des réponses différentes s'imposent pour des pathologies identiques. L'assistance aux personnes se fait différemment selon les troubles de santé dont elles sont atteintes. Par exemple, des personnes atteintes de déficits de mémoire seront souvent assistées par des systèmes de localisation d'objets ou de rappel d'activité. Dans une tâche domestique, le système indiquera à la personne l'endroit où trouver les ustensiles et les ingrédients appropriés ou lui rappellera de ne pas oublier de retirer une casserole du feu dans les cas de troubles de mémoire à court terme chez les malades Alzheimer [Serna et al., 2007a]. Les personnes ayant des problèmes de planification pourront être assistées par un planificateur qui leur rappellera à chaque étape les actions effectuées, les actions en cours et les actions à venir. Les personnes ayant des troubles exécutifs pourront être assistées par un système détaillant le déroulement de chaque étape en profondeur.

Il faut ainsi pouvoir adapter le niveau d'assistance (complexité de l'information donnée, médium de transmission...) au type de pathologie : par exemple les maladies dégénératives comme les démences de type Alzheimer, la schizophrénie, les suites ou séquelles de traumatismes crâniens ou la déficience intellectuelle. Permettre d'assister des personnes très différentes requiert une solution *ad hoc* pour chaque personne ou une solution très adaptative. En plus de l'aspect très onéreux d'une solution par personne, il faut considérer que malgré des réponses différentes selon les troubles, les traitements de l'information et de l'assistance ont beaucoup d'aspects en commun. Des solutions ayant une réponse commune aux besoins généraux des patients sont souhaitables, mais elles doivent pouvoir s'adapter et satisfaire certaines contraintes particulières d'assistance aux personnes.

Ces solutions envisagées se concentrent toujours autour d'un point central : l'habitat. Des solutions d'assistance mobile (assistance au déplacement, à la gestion de l'emploi du temps ...) sont indispensables et complémentaires. Toutefois si on souhaite réellement maintenir les personnes à domicile, tout en minimisant les risques liés à leur perte d'autonomie, il faut permettre la présence d'aidants naturels ou professionnels ou la cohabitation de plusieurs personnes dans le même habitat. Cet habitat doit ainsi lui-même devenir intelligent et apporter le complément d'assistance nécessaire à chaque résident ou visiteur.

1.2 Les Habitats Intelligents pour la Santé

Les Habitats Intelligents pour la Santé (HIS – aussi appelés appartements intelligents dans la suite de ce document) ont pour but de sécuriser et de faciliter la vie quotidienne de personnes ayant des problèmes de santé. Dans le cadre de ce doctorat, on s'intéressera plus spécifiquement aux problématiques posées par la cohabitation de personnes atteintes de troubles cognitifs, de personnes extérieures en visite, que ce soit d'autres personnes en perte d'autonomie ou des aidants, naturels ou professionnels ou encore du personnel médical.

Les troubles peuvent varier selon le type de maladie et même selon les personnes atteintes de la même maladie. Ces personnes ont donc des besoins différents et des problèmes de fonctionnement qui nécessitent des aides appropriées. Pour certains types et stades de maladies (après un Accident Vasculaire Cérébral (AVC) par exemple), une surveillance médicale est nécessaire alors qu'une assistance dans les tâches de la vie quotidienne n'est pas toujours primordiale. Dans d'autres cas, l'assistance aux tâches et la personnalisation de l'environnement dans l'appartement sont des interventions essentielles pour permettre une vie plus autonome pour des personnes en perte d'autonomie.

Rendre un appartement intelligent représente un défi qui dépasse l'application de simples règles de domotique comme la régulation du chauffage ou la fermeture automatique des volets. Un Habitat Intelligent pour la Santé se veut être un palliatif au manque d'autonomie de ses résidents. Il rassemble des technologies de perception, de communication et de puissance de calcul. Celles-ci permettent de superviser les personnes, de détecter ou même de prévoir des incidents et d'assister les personnes dans la réalisation de leurs tâches quotidiennes.

Les technologies de perception (voir 2.2.2) sont diverses et variées (capteurs de présence, capteurs de pression, étiquettes localisatrices, caméra vidéo, etc.). Elles permettent la détection des perturbations de l'environnement physique dans le lieu ainsi équipé. Ces perturbations peuvent aussi bien être dues aux mouvements des personnes qu'aux actions du système dans l'environnement (allumage d'une lampe par exemple). La conception des Habitats Intelligents pour la Santé doit prendre en compte le respect de la vie privée des résidents. Cette éthique nous incite à favoriser les technologies de perception les moins intrusives possibles. L'utilisation des données recueillies par ces technologies souvent non identifiantes (c'est-à-dire qui ne fournissent pas d'information sur la personne qui en est la source) complique toutefois l'inférence de certaines informations utiles à une assistance adaptée à chaque personne. L'utilisation de

technologies identifiantes peut simplifier la reconnaissance d'activités et la localisation précise des personnes afin de les assister dans leurs tâches courantes, mais elle repose sur le bon vouloir des personnes aidées [Rumeau *et al.*, 2006] et ne peut être considérée comme acquise.

Les technologies de communication (voir 2.2.3) permettent à l'HIS de personnaliser l'environnement et de fournir de l'aide aux personnes ciblées. Elles peuvent prendre toutes les formes synthétisables perceptibles par les humains (une lampe ou un écran pour la vue, des hauts-parleurs pour l'ouïe, des robots pour le toucher) afin de transmettre leur message de la manière la plus appropriée et la plus effective. Le public ciblé limite toutefois l'utilisation de certains médias. L'acceptation d'un médium diffère selon les troubles, les handicaps et les personnalités. Une communication non désirée ou non perçue par la personne nécessitant l'assistance peut être inutile (message vocal pour une personne sourde) ou pire, être un « bruit » indésirable et potentiellement perturbant (un flash pour attirer l'attention d'une personne qui se concentre sur sa tâche).

Les technologies de calculs permettent à l'habitat de « réfléchir » et d'inférer les comportements de monitoring ou d'assistance en fonction des perceptions reçues et des médias de communication disponibles. On peut retrouver dans ces technologies des puissances centralisées (un ordinateur contrôlant tout) ou des puissances de calculs distribuées. Chacune de ces technologies apporte des avantages comme des inconvénients. La solution centralisée permet d'agir plus vite dès la réception des perceptions et gère directement les accès et les choix des médias de communication. Plus facile à gérer, elle présente toutefois le problème d'engorgement des données (un seul point d'accès) et de rigidité d'adaptation à l'évolution de l'environnement physique (pas d'ajout dynamique de nouveaux médias de perception ou de communication). La solution distribuée peut simplifier cette gestion et propose plus de souplesse, d'adaptabilité et de résilience mais ajoute une dimension de communications internes et de synchronisations coûteuses entre agents qui découle du partage de

l'information. Une solution ainsi décentralisée permet en sus de prendre en compte des contextes locaux et de proposer des réactions de l'environnement en fonction de la perception locale de l'activité.

Les interactions avec les personnes utilisent les technologies de perception et de calcul pour inférer les problèmes potentiels et leur résolution possible, puis les technologies de communication pour apporter l'aide nécessaire en cas de besoin. Certains cas d'interaction [Vergnes et al., 2005] utilisent des ensembles qui perçoivent et communiquent (écran tactile, microphone couplé à des hauts-parleurs, etc.). L'adéquation des médias pour l'assistance (assister de la bonne manière) et l'acceptation des personnes ciblées pour le matériel utilisé (tolérance de l'intrusion du système dans leur vie quotidienne) participent à l'efficacité du système.

Les Habitats Intelligents pour la Santé sont donc des outils avec lesquels il faut composer afin d'apporter aide et soutien aux personnes présentes en leur sein. Grâce à leurs diversités et leurs configurations possibles, les HIS peuvent permettre de supporter des solutions technologiques d'assistance et de soutien pour les personnes en perte d'autonomie et leurs visiteurs. Ayant les moyens d'assister, il faut maintenant s'assurer d'assister les personnes de manière justifiée et appropriée.

1.3 Le contexte d'assistance

Dans quel contexte doit-on assister les personnes ? L'assistance des personnes en perte d'autonomie est un noble objectif, mais peut parfois dépasser les réels besoins des personnes ciblées. Apporter une assistance maximale à une personne dans tous les cas possibles pourrait rendre cette personne dépendante du système d'assistance et ainsi fragiliser sa confiance dans des lieux non assistés. Une telle orthèse cognitive deviendrait alors une béquille non désirable et trahirait le but originel de l'assistance.

La problématique posée est alors la suivante : comment aider des personnes à surmonter leurs troubles sans toutefois provoquer de dépendance ? Cela ne peut être

résolu par des simples règles puisque les solutions sont multiples et dépendent de chaque type de troubles et de chaque personne. Il est toutefois possible de proposer un système suffisamment configurable qui permet l'adaptation de l'assistance en plusieurs niveaux. La personne assistée peut ainsi demander au système par le biais d'une interface très simple d'augmenter ou de baisser le niveau d'aide le cas échéant. Elle sera désormais assistée au niveau d'aide adéquat pour la tâche en question.

L'assistance pour les tâches de la vie quotidienne est un concept qui doit dépendre de l'activité que la personne réalise. Il est inutile voire contre-productif d'assister une personne pour une tâche qu'elle n'envisageait pas faire (faux positif). Une telle assistance peut induire une perturbation pour la personne. La connaissance de l'activité courante repose sur la perception de l'environnement physique et de l'inférence de l'activité en cours en fonction de ces observations. Avec une connaissance réaliste de l'activité à assister, le système peut proposer une aide appropriée ou, le cas échéant, ne pas assister l'activité lorsque celle-ci est réalisée sans heurts.

Une manière pertinente d'assister une personne est ainsi de s'assurer que les perceptions reçues de l'environnement sont en accord avec les perceptions supposées à un moment donné. Ces perceptions supposées sont propres aux habitudes recensées, aux activités prévues et aux troubles connus de la personne. Un profil de chaque personne peut alors être compilé avec ces données afin de fournir au système une configuration dynamique pour chaque intervention d'assistance. Grâce à ce profil, on peut introduire une notion de contexte, qui représente la conjonction du profil des personnes présentes dans l'habitat et des perceptions tirées de l'environnement physique de cet habitat. La connaissance complète de ce contexte devrait assurer une assistance appropriée en adéquation avec les données connues. Partie essentielle de la personnalisation de l'environnement, l'assistance n'est toutefois qu'une première composante. La section suivante définit plus généralement la personnalisation de l'environnement.

1.4 La personnalisation de l'environnement

La personnalisation de l'environnement consiste à adapter le milieu de vie des résidents pour sécuriser et faciliter leur vie quotidienne : par exemple en ajustant la lumière en fonction de l'activité en cours, en proposant des menus interactifs lorsqu'une activité est probable ou en assistant directement l'activité. Ces personnalisations s'effectuent en fonction des informations de profil de la personne. Toutes les actions de personnalisation doivent être gérées pour résoudre les conflits potentiels d'accès aux effecteurs ou aux ressources de calcul pour une même personne avec deux activités simultanées ou deux personnes avec des activités concurrentes.

Pour pouvoir assister une personne et personnaliser son environnement de la manière la plus adéquate et la plus utile possible, il peut sembler nécessaire de connaître tous les paramètres des effecteurs et les profils des personnes qui coexistent dans l'appartement intelligent. L'ensemble de ces connaissances fournit une vue exhaustive du contexte. Ce contexte varie à chaque instant et nécessite ainsi d'être mis à jour et consulté avant chaque interaction dans l'habitat. La connaissance complète du contexte est assimilable à de l'omniscience. Cela représente donc un très grand volume d'informations et cela demande une puissance de calcul énorme pour le traiter.

L'omniscience du système n'est pas nécessaire dans la plupart des cas où seul le contexte local est pertinent. Afin de réduire ces traitements, il est possible de décentraliser cette connaissance pour considérer des contextes plus locaux. Plusieurs modules conceptuels complémentaires contribuent à la gestion du contexte : la localisation, l'identification, la détection d'activités et la gestion de profils, l'assistance aux personnes et la personnalisation de l'environnement.

On définit le contexte global que nous utiliserons comme la connaissance des personnes qui circulent et vaquent à leurs occupations dans l'appartement, et des interactions (perception et action ou réaction du système) qui en découlent. Le maintien

à jour de ce contexte nécessite de localiser toutes les personnes présentes dans l'appartement et de suivre leurs déplacements. On définit également un contexte personnel qui correspond au contexte de chaque personne, comme un point de vue particulier sur l'environnement. On retrouve dans le contexte attribué de chaque personne l'influence de la présence des autres personnes dans l'appartement.

Un contexte par personne implique la gestion de chaque individu à part entière. C'est un aspect requis par l'assistance et la personnalisation de l'environnement pour plusieurs personnes simultanément. Il n'est pas toujours suffisant de savoir que deux personnes sont dans l'appartement, une dans le salon et l'autre dans la cuisine. Il faut parfois savoir qui est dans la cuisine et qui est dans le salon, afin d'assister chacune selon son profil propre et non selon celui de l'autre ou selon un profil générique. Cela induit qu'en plus de la localisation, l'identification des personnes est indispensable dans la plupart des cas pour une assistance adéquate.

La personnalisation de l'environnement utilise les principes de localisation et d'identification de personnes précédemment décrits et se sert fortement de la notion de contexte. En effet, si deux personnes sont dans l'appartement, en assistant une de ces personnes dans une tâche de cuisine il faut tenir compte du fait que l'autre personne peut traverser la cuisine, déplacer un objet, utiliser un ustensile ou même porter assistance à cette personne dans la réalisation de sa tâche. D'autre part, on souhaite personnaliser l'environnement (par exemple le niveau de lumière) dans une pièce en fonction de l'activité détectée. Si l'une regarde une émission de télévision et l'autre lit dans le salon au même moment, la personnalisation de l'environnement pour la première rentre en conflit avec celle de la seconde. En connaissance du contexte, les deux processus de personnalisation doivent donc en arriver à un consensus.

La personnalisation de l'environnement dans un appartement intelligent est une longue chaîne de traitements qui relie les personnes qui évoluent dans l'habitat aux réactions déclenchées dans leur environnement. Il est très important de pouvoir savoir quelle réaction engendrera une action du résident et, du point de vue de la conception,

quelles sont les réactions typiques de l'environnement auxquelles on s'attend selon les cas limites que l'on peut prévoir. La section 3.1 propose des scénarios qui mettront en valeur ces problèmes et des solutions possibles.

1.5 Conclusion

Les problématiques de ce doctorat recourent plusieurs domaines, des sciences cognitives (1.1) aux technologies matérielles d'assistance (1.2) en y intégrant l'éthique de l'aide aux personnes (1.3) pour personnaliser un environnement (1.4).

Un aspect humain : le domaine des personnes en perte d'autonomie ou atteintes de troubles cognitifs nous incite à chercher des solutions appropriées et respectueuses afin de répondre aux réels besoins de cette population ciblée et des personnes qui gravitent autour d'elles, notamment membres de la famille, amis, aidants naturels ou professionnels, médecins, infirmières et thérapeutes. Cela introduit des difficultés de gestion de multiples personnes et d'assistance appropriée selon les profils des personnes.

Un aspect matériel : les technologies matérielles d'assistance orientent la recherche dans les habitats intelligents en utilisant les technologies de perception, de communication et de calcul afin de pouvoir proposer un système d'assistance fiable et adapté aux besoins et aux préférences des utilisateurs désignés. Ces préférences et la volonté de se conformer à une saine éthique d'utilisation des données peuvent limiter les choix de médias utilisables pour communiquer et interagir avec ces personnes.

Leur intersection : les concepts de contexte d'assistance et de personnalisation de l'environnement rapprochent les deux domaines cités : l'aspect humain et l'aspect matériel. Un troisième aspect, la gestion de données, en découle et soulève encore d'autres problématiques de suivi de personne, de détection et de reconnaissance d'activités, de résolution de conflits, aussi bien dans les cas de multiples personnes en simultané qu'entre les préférences des personnes assistées et les règles de domotique de base.

Le chapitre qui suit propose un parcours de l'état de l'art pour ces problématiques afin de tirer un apprentissage des solutions existantes. On y trouvera des solutions aux problématiques humaines pour respecter les besoins des usagers ciblés en utilisant des solutions aux problématiques matérielles pour utiliser au maximum les possibilités dont nous disposons, organisées par des solutions informatiques pour structurer et gérer les données et les interactions nécessaires pour réaliser la personnalisation de l'environnement dans un HIS.

Chapitre 2 – État de l’art : Des technologies pour le domicile et l’autonomie

Ce doctorat a pour but de réaliser de manière transparente l’assistance et la personnalisation dans un environnement multi-personnes pour des personnes atteintes de troubles cognitifs ou en perte d’autonomie. Plusieurs domaines différents – sciences cognitives, technologies d’assistance, interactions et organisation informatique – sont impliqués dans cette problématique. Pour personnaliser l’environnement et assister des personnes, il faut souvent pouvoir reconnaître les activités en cours pour ensuite interagir avec l’environnement (l’HIS dans notre cas) de manière appropriée et en fonction de la personne. De plus, plusieurs personnes peuvent cohabiter dans un HIS et peuvent recevoir de la visite. Il est donc nécessaire de pouvoir gérer, personnaliser l’environnement et assister plusieurs personnes à la fois. A cette fin, une architecture adéquate pour le système doit être implémentée.

La section 2.1 présente l’état de l’art pour la reconnaissance d’activités. Cette section propose des solutions utilisables pour détecter les activités en cours dans l’environnement, dans le but de mieux personnaliser l’environnement pour des personnes qui en ont besoin. La section 2.2 décrit les solutions d’interactions dans les habitats intelligents, réponses aux problématiques matérielles décrites en 1.2. La section 2.3 expose ensuite les possibilités de gestion des contextes dans un environnement multi-personnes, mettant en évidence la nécessité d’un approfondissement de ce sujet. La réunion de ces pistes partielles confirme le besoin d’une organisation pour structurer le système d’aide prévu. La section 0 présente ainsi les solutions en matière d’architecture pour le système. De toutes les solutions proposées dans cet état de l’art, aucune ne propose de réponse complète mais certaines pistes partielles ont été retenues pour ce doctorat et une synthèse en sera présentée dans la section 2.5.

2.1 La reconnaissance d’activités

La reconnaissance d’activités est un outil qui est utilisé dans de nombreux domaines, en particulier dans des buts médicaux. Par exemple, [Pollack et al., 2003] montre qu’en surveillant et en détectant les activités humaines de manière automatique, il est possible de proposer des activités de réadaptation au domicile pour des personnes souffrant de traumatismes crâniens. La reconnaissance automatique d’activités peut être fondée sur des capteurs et sur la vision. La section 2.1.1 présente ces deux principes de reconnaissance. La section 2.1.2 présente les approches logiques et probabilistes utilisées pour mener à bien cette reconnaissance d’activités avec leurs spécificités et la section 2.1.3 conclut en indiquant les pistes de solutions retenues.

2.1.1 Les principes de la reconnaissance d’activités

On peut trouver plusieurs manières de reconnaître des activités, mais deux catégories fondamentales se distinguent en raison de leur différence d’application : la reconnaissance fondée sur la vision et celle fondée sur d’autres capteurs. Ces deux catégories ont la même finalité objective, celle de reconnaissance d’activités, mais ne peuvent pas toujours être utilisées dans les mêmes domaines, selon l’acceptation des personnes ciblées et le caractère public ou privé de ces activités.

La reconnaissance d’activités fondée sur la vision consiste à reconnaître et comprendre le comportement de personnes à travers des vidéos prises par plusieurs caméras. La principale technique utilisée est la vision assistée par ordinateur qui trouve de nombreuses applications comme la détection d’activités dans des aéroports, gares et espaces publics en général [Aggarwal, 2005] ou la gestion des flux routiers [Bai et al., 2005]. Beaucoup de méthodes ont été essayées pour améliorer le rendement de cette technique comme les flux optiques [Sotelo et al., 2007] ou les filtres de Kalman [Allart et al., 2008]. Différentes manières de prélever les informations ont également été

présentées, avec une seule caméra [An et al., 2007], en stéréo [Hu et al., 2004] et en infrarouge [Olmeda et al., 2008].

La reconnaissance d’activités fondée sur les capteurs est possible grâce à des concepts émergents tels que les réseaux de capteurs, le forage de données et l’apprentissage intelligent. La reconnaissance d’activités à partir de capteurs non-vidéos est une tâche ardue. En effet, les différents capteurs qui sont utilisés sont en général anonymes et sujets à parasitage (déclenchement intempestif de capteurs, faux positifs ou faux négatifs, manque de discernement quant à l’identité des acteurs). Ainsi la modélisation statistique est la principale méthode utilisée, en décomposant la reconnaissance par niveau d’abstraction et en réunissant ensuite les inférences réalisées.

Au plus bas niveau, les données brutes des capteurs sont collectées. L’apprentissage statistique (par exemple grâce à un filtre Bayésien) peut inférer les lieux d’activités des personnes suivies, leurs déplacements et éventuellement prévoir leur localisation à venir [Rahal et al., 2007]. À un niveau intermédiaire, l’inférence statistique concerne les activités des personnes en fonction de leur localisation et des conditions de l’environnement (date, heure, précédente activité ...) observés dans les niveaux inférieurs [Nakauchi et al., 2003]. Enfin, les niveaux les plus élevés tentent de reconnaître les buts globaux entrelacés des personnes à partir des séquences d’activités détectées et à travers un mélange de raisonnements statistiques et logiques [Hu et Yang, 2008].

Dans le cadre de ce doctorat, on souhaite éviter l’utilisation de reconnaissance basées sur la vision pour proposer une solution capable et acceptable pour la reconnaissance d’activités, même à caractère privé. Une inférence statistique semble être une solution intermédiaire judicieuse.

2.1.2 Les approches de reconnaissance d’activités

Deux principales approches sont retrouvées dans le domaine de la reconnaissance d’activités. La première est la reconnaissance par raisonnement logique. La seconde est la reconnaissance par déduction probabiliste.

La reconnaissance d’activités fondée sur la logique garde en vue toutes les possibilités cohérentes selon la logique employée expliquant les actions observées. Ainsi, tous les plans ou buts possibles doivent être considérés. [Kautz et Pednault, 1988] proposent une théorie de reconnaissance de plans. La reconnaissance de plans y est décrite comme un processus d’inférence logique concentrique. La connaissance acquise du moteur d’inférence est alors représentée par un ensemble de propositions logiques du premier ordre qui définissent l’abstraction, la décomposition et les relations fonctionnelles entre les sous-buts. Ces sous-buts correspondent aux différentes sous-activités à reconnaître. Ce cadre de reconnaissance de plans est d’une complexité exponentielle au pire, en fonction de la taille de la hiérarchie des buts. La reconnaissance obtenue peut être accélérée en taillant l’arbre des buts selon les comportements récents des personnes suivies [Pollack et al., 2003]. Une des limites des approches fondées sur la logique est leur incapacité inhérente à représenter l’incertitude. Ces approches ne proposent pas de mécanismes pour préférer une méthode à une autre et ne peuvent se prononcer sur un plan plutôt qu’un autre dans la mesure où les deux sont cohérents selon la logique utilisée. Ces approches ne permettent pas non plus un apprentissage non-supervisé.

La reconnaissance d’activités par déduction probabiliste [Hodges et Pollack, 2007] est probablement la plus utilisée dans les domaines où l’on souhaite intégrer l’apprentissage des comportements, afin de se rapprocher du contexte humain. Cette approche est plus récente dans son application au raisonnement sur les actions, les plans et les buts, et met en œuvre la théorie des probabilités et les modèles d’apprentissage statistique. Selon [Charniak et Goldman, 1993], la reconnaissance de plans doit être un processus de raisonnement incertain. Ils argumentent que tout modèle ne laissant pas place à l’incertitude ne peut être adéquat. Il existe dans la littérature plusieurs approches

qui représentent explicitement l’incertitude dans le raisonnement sur des plans ou activités humaines. En utilisant des informations de capteurs comme sources, [Hodges et Pollack, 2007] proposent un apprentissage de reconnaissance de personnes par identification de schémas d’actions dans une tâche de routine. D’autres recherches proposent différentes manières de considérer l’incertitude et les probabilités pour détecter les activités et les plans [Liao et al., 2004; Patterson et al., 2005; Perkwitz et al., 2004] en utilisant différents capteurs comme des étiquettes RFID ou un GPS. D’autres recherches proposent la détection à haut niveau d’activités en dehors du lieu de vie en se basant sur l’utilisation des bornes WiFi [Yin et al., 2004]. Cette approche n’est pas viable dans un environnement tel que l’HIS où les distances sont trop réduites.

Dans le contexte de cette recherche, la reconnaissance d’activité fondée sur la logique est trop lourde à utiliser surtout en considérant de multiples activités concurrentes et la complexité exponentielle. Une reconnaissance partielle ou optionnelle des activités par déduction probabiliste peut permettre une meilleure connaissance du contexte sans ralentir tout le système.

2.1.3 Solutions retenues pour la reconnaissance d’activités

Dans le cadre de reconnaissance d’activités dans un HIS, il nous faut considérer que l’on souhaite reconnaître les activités de haut niveau (téléphoner, faire à manger, prendre une douche, etc.) dans tout l’appartement. La mise en place de caméras vidéo dans l’HIS est une solution qui risquerait de rencontrer des problèmes éthiques d’intrusion dans la vie privée et ne serait pas aisée sans isolement complet du traitement à la source (tout le traitement effectué dans la caméra) dans certaines pièces (Salle de bain par exemple). Proposer une solution qui fonctionne sans leur présence permettrait en plus de garantir une qualité de service dans l’éventualité de leur utilisation ultérieure. La reconnaissance par capteurs plus anonymes est donc la voie envisagée.

Pour personnaliser l’environnement et assister des personnes de manière toujours plus avancée, les systèmes peuvent gagner à apprendre les comportements de chaque personne. Une telle reconnaissance d’activités de haut-niveau peut suffire aux objectifs envisagés. Une approche de reconnaissance d’activités par déductions probabilistes est par ailleurs très appropriée pour l’utilisation de capteurs anonymes et représente donc la piste choisie pour cette recherche. L’identification de schémas d’actions peut être implémentée par un modèle de Markov pour donner une base commune à toutes les personnes et personnaliser la reconnaissance en fonction de leurs valeurs propres.

2.2 L’interaction avec l’environnement

L’interaction avec l’environnement pour un système d’assistance ou de personnalisation se décompose en deux parties. La première est intrinsèquement liée à la reconnaissance d’activités décrite dans la partie précédente, puisqu’elle consiste à collecter les informations des capteurs dans l’environnement considéré. La deuxième partie correspond aux réponses possibles du système dans l’environnement. On présentera tout d’abord en 2.2.1 les types d’habitats intelligents qui existent, puis les types de capteurs (2.2.2) qui permettent à un système d’assistance d’obtenir des informations sur l’environnement. La section 2.2.3 présentera les effecteurs et la gestion du caractère unique de chaque personne qu’on doit assister. Enfin, une conclusion en 2.2.4 synthétisera les solutions retenues.

2.2.1 Les habitats intelligents

Les habitats intelligents sont des habitats qui intègrent des techniques et des technologies pour rendre la vie de leurs occupants plus agréable, plus confortable et plus sécurisante. Des fonctionnalités utilisées dans tous les espaces intelligents peuvent y être retrouvées, comme le contrôle automatisé et intelligent de la température, des lumières, des portes et volets, des systèmes de sécurité tels les alarmes d’intrusion ou les détecteurs de feu et de fumée. On y trouve également des fonctions additionnelles de contrôle ou d’automatisme pour les centres multimédias maison, l’arrosage des plantes et la distribution de nourriture pour les animaux de la maison. Ces habitats intelligents sont souvent conçus avant leur construction pour faciliter le câblage et l’installation des différents appareils nécessaires. On trouve dans la littérature plusieurs angles d’approche pour améliorer ou automatiser l’intelligence de ces habitats [Augusto et Nugent, 2006; Bose et al., 2006].

Les Habitats Intelligents pour la Santé (HIS) constituent une sous-catégorie des habitats intelligents car ils visent plus particulièrement à surveiller [Fouquet et al., 2009], assister et personnaliser l’environnement intérieur pour des personnes

handicapées ou atteintes de troubles cognitifs. Certains projets de recherche s’intéressent aux possibilités générales pour toutes les personnes, âgées ou handicapées, afin de faciliter leur vie au quotidien [Stefanov et al., 2004]. D’autres projets prennent un axe plus directif en se consacrant aux habitats intelligents pour les personnes ayant des troubles physiques [Allen, 1996; Andrich et al., 2006; Jain et al., 2006] ou pour des personnes quadriplégiques avec activation par la voix [Uzunay et Bicakci, 2007]. Les HIS sont parfois aussi destinés à faciliter le retour au domicile après une maladie ou certains accidents et problèmes cardiaques [Zheng et al., 2006].

Enfin, certains HIS se consacrent à l’assistance et la personnalisation de l’environnement pour des personnes âgées, atteintes de troubles cognitifs et plus généralement des personnes nécessitant une présence pour les assister dans la réalisation des tâches quotidiennes. L’assistance d’une personne dans un tel HIS peut être vue de différentes manières. Par exemple, l’équipe AFIRM¹ du laboratoire TIMC-IMAG² se concentre principalement sur la supervision des personnes [Rialle et al., 2003] vivant dans l’appartement. Certaines études plus particulières de ce laboratoire concernent des applications médicales [Scanail et al., 2006], la fusion de données [Noury et al., 2006], l’éthique de la recherche appliquée à des personnes âgées ou souffrant de troubles cognitifs [Rialle et al., 2008] telle la maladie d’Alzheimer, et des applications visant à améliorer la qualité de vie de ces personnes par exemple en luttant contre l’esseulement [Ghorayeb et al., 2006] dont beaucoup souffrent.

D’autres laboratoires s’orientent plus précisément sur l’assistance des personnes. Cette approche concerne moins la surveillance médicale et plus l’aide quotidienne pour les personnes vivant chez elles. Le laboratoire DOMUS³ par exemple réunit plusieurs projets dont le fil directeur commun est l’assistance aux personnes pour leur permettre une vie la plus normale possible. Dans ces projets on trouvera des projets du premier

¹ AFIRM : Acquisition, Fusion d’Information et Réseaux pour la Médecine

² TIMC-IMAG : Techniques de l’Ingénierie Médicale et de la Complexité - Informatique, Mathématiques et Applications de Grenoble (Grenoble, Isère, France)

³ DOMUS : Laboratoire de domotique et d’informatique mobile de l’Université de Sherbrooke (Sherbrooke, Québec, Canada)

niveau telle la localisation [Rahal et al., 2007], de niveau intermédiaire pour la communication entre appareils intelligents [Gouin-Vallerand et Giroux, 2007] et de niveau abstrait comme l’assistance complète d’une tâche [Bauchet et al., 2006], ou la reconnaissance de plans [Bouchard et al., 2006] et l’étude et la modélisation d’erreurs cognitives [Serna et al., 2007a; Serna et al., 2007b].

Ces deux laboratoires AFIRM et DOMUS sont cités particulièrement parce que ce doctorat est effectué en cotutelle en leur sein, mais de nombreux autres projets d’HIS existent dans la littérature et reprennent les mêmes problématiques avec souvent une dominante particulière. On trouvera en exemple les travaux de [Helal et al., 2005] pour GatorTech Smart House en Floride (USA). Cet habitat est composé d’un grand nombre d’appareils individuels qui proposent chacun des services pour assister la vie quotidienne du résident. Des dalles sensorielles permettent en outre d’identifier la personne suivie.

Le projet AwareHome [Kidd et al., 1999] propose un laboratoire vivant dans lequel les résidents peuvent tester les nouvelles technologies trouvées, comme l’étiquetage RFID d’objets pour les retrouver plus facilement (porte-monnaie, lunettes...). Microsoft EasyLiving [Brumitt et al., 2000] utilise de la vidéo pour suivre les résidents et adapter l’environnement à leurs besoins. [Mihailidis et al., 2000] propose également plusieurs systèmes d’assistance fondés sur le suivi vidéo. D’autres laboratoires proposent des études de style de vie pour assister plus aisément et déclencher des alarmes éventuelles en cas de dérogation [Barnes et al., 1998; Ma et al., 2005].

De nombreux projets de maisons intelligentes existent et proposent des orientations variées. Les deux laboratoires d’accueil de ce doctorat (AFIRM et DOMUS) se concentrent respectivement sur la supervision médicale et l’aide aux personnes atteinte de déficience cognitives, orientant ainsi certains des choix de recherche vers un respect de l’utilisateur et une assistance adaptée.

2.2.2 Les capteurs : sources de connaissance

Dans les habitats intelligents, la principale source de connaissance du système sur l’état des l’environnement est l’information donnée par les capteurs qui y sont installés (voir Annexe 2 : Les capteurs du DOMUS). C’est sur ces capteurs et sur l’information qu’on peut inférer depuis leur signal que le système de gestion de l’habitat fondera ses déductions et ses actions éventuelles. Dans le cas des HIS, les informations qu’on peut extraire de l’observation des capteurs sont destinées à une aide au diagnostic pour un médecin, à des indications pour une infirmière ou pour un ergothérapeute ou encore à être ré-infusées dans un système d’assistance informatisé. Dans ce cas d’assistance informatisée, même si l’on peut parfois également rediriger une partie des données vers des destinataires humains, le but principal est de donner un retour au résident pour l’assister dans ses tâches de la vie quotidienne s’il en a besoin. Ces données sont donc analysées et interprétées informatiquement pour fournir une assistance adéquate.

On peut classer les capteurs en plusieurs catégories, selon leur méthode d’utilisation et le type de données qu’ils produisent. On retrouve dans les HIS les capteurs anonymes, les capteurs identifiants en deux parties (antenne et étiquette), les capteurs portés par une personne et les réseaux de capteurs.

La première catégorie est celle des capteurs anonymes (Tableau 1). Ces capteurs sont dits anonymes car ils ne peuvent directement identifier la personne déclenchant un événement mais seulement détecter l’occurrence de cet événement. Ils sont en général installés dans une place fixe de l’habitat. Des projets comme Domino [Rahal et al., 2007] utilisent exclusivement les capteurs anonymes pour la localisation et l’estimation d’activité d’une seule personne.

Tableau 1 : Exemples de capteurs anonymes

Type de capteur	Utilisation
Détecteurs infrarouges	pour détecter le mouvement (anonyme et non identifié) dans une zone donnée de l’appartement
Contacts électromagnétiques	pour détecter les ouvertures et fermetures de portes, placards, tiroirs, réfrigérateurs et autres équipements de la vie courante...
Tapis tactiles	pour détecter une pression, au sol, sous un canapé ou sous un matelas de lit.
Débitmètres	pour détecter l’ouverture d’un robinet et la quantité d’eau écoulée (afin de déterminer par exemple si l’on remplit un verre ou une cruche)

La deuxième catégorie de capteurs concerne les capteurs identifiants en deux parties (Tableau 2), généralement comprenant une partie fixe de repère et une partie mobile identifiante. Ces capteurs présentent ainsi l’inconvénient majeur de nécessiter une étiquette ou une carte sur les objets ou les personnes à identifier ou à localiser mais fournissent des sources d’informations plus fines et plus précises que les capteurs anonymes.

Dans la catégorie suivante, on trouve les capteurs portés sur une personne. Ces capteurs peuvent être à buts divers comme par exemple la prévention ou la détection de chute [Noury, 2002; Noury et al., 2007] ou la surveillance des fonctions vitales [Noury et al., 2006]. Certains de ces capteurs ne nécessitent pas d’être portés en permanence [Arcelus et al., 2007] et certains sont en partie intégrés à l’environnement en proposant des capteurs ponctuels pour les fonctions vitales [Nambu et al., 2000]. Des projets proposent une base d’opérations dans l’appartement pour permettre un contrôle épisodique des fonctions de la personne sans nécessiter le port permanent de l’appareil. [Yoon et al., 2005] propose par exemple une station de contrôle du taux d’oxygénation,

de la tension artérielle et de la fréquence cardiaque ; le médecin de famille de la personne pourrait demander plusieurs examens ponctuels répartis dans la journée (par exemple au lever et au coucher) afin de suivre les évolutions de la personne sans nécessiter un équipement porté en permanence avec tous les problèmes d’ergonomie et de design que cela comporte.

Tableau 2: Capteurs de localisation identifiant en deux parties

Type de capteur	Utilisation
Lecteur RFID et étiquettes associées	Un lecteur RFID (Radio Frequency IDentification) est une antenne qui génère un champ électromagnétique par le biais duquel des étiquettes associées peuvent, sans recours à une alimentation électrique, transmettre les données qu’elles contiennent (souvent un simple numéro de série). Différents types de lecteurs RFID et d’étiquettes permettent d’adapter la distance et la précision de détection en fonction du besoin et des moyens et également d’augmenter la quantité de données transférables. Cette technologie peut être utilisée dans la localisation et la cartographie d’un espace [Hahnel et al., 2004] ou dans la reconnaissance d’activités par inférence sur les objets manipulés [Patterson et al., 2005].
Système UWB et cartes associées	Un système UWB (Ultra Wide Band) est un système comparable à un GPS d’intérieur, qui localise des cartes magnétiques émettrices dans un espace cerné de bornes lectrices [Jourdan et al., 2005]. Cette solution est plutôt retenue dans les grands espaces ouverts car des parois interfèrent rapidement avec sa précision.
ZigBee	ZigBee est un protocole de transfert sans fil sur de courtes distances et de faible consommation. Grâce à un tel protocole, il est possible d’équiper une personne et de la localiser avec une méthode de triangulation similaire au GPS [Hofmann et al., 2006] mais la précision laisse à désirer. Ils utilisent ce protocole pour récupérer des informations médicales depuis un capteur porté sur la personne. La localisation approximative est alors un bénéfice induit.

Enfin, une dernière catégorie comprend les réseaux de capteurs. Ce terme très large peut rassembler un très grand nombre de projets, mais on tient compte dans cette catégorie d’un réseau physique de capteurs qui donne une information de haut niveau. Une telle information peut alors être assimilée comme venant d’un seul capteur. On

peut avoir un réseau de capteurs de pression placés sous le sol qui donne précisément à chaque instant la position, l’identité et éventuellement la posture des personnes qui s’y déplacent [Helal et al., 2005]. Un tel réseau augmente de beaucoup la précision du système de surveillance et donc l’adéquation de l’assistance échéante.

Toutes ces catégories de capteurs apportent des niveaux d’information différents et viennent tous avec le concept de bruit, information superflue ou erronée que le système d’inférence doit prendre en compte pour éviter de polluer les résultats. Dans l’optique de cette thèse, les capteurs portés sur la personne ne permettent pas de garder un système effectif avec l’entrée de personnes extérieures non équipées. Les capteurs anonymes sont donc l’ensemble dans lequel les méthodes d’inférence de ce système pourront puiser. Un ajout ultérieur de capteurs complémentaire sans cette restriction ne fera qu’améliorer la précision du système.

2.2.3 Les effecteurs et les profils

Pour assister des personnes atteintes de troubles cognitifs dans un appartement intelligent, il est possible d’utiliser différents effecteurs pour communiquer avec le résident. Ces effecteurs sont des appareils électroniques qui peuvent transmettre des informations dans l’environnement. Ils constituent ainsi un médium de communication avec le résident. Les informations sont représentées de différentes manières, selon le besoin et le message que le système souhaite faire passer. Dans le cas de l’assistance d’une personne atteinte de troubles de la mémoire, le système peut souhaiter seulement attirer son attention et ne pas lui donner toute l’information. En stimulant ses facultés d’interprétation du message simplifié, on peut ainsi ralentir la progression de la maladie. Un tel système peut alors utiliser plusieurs types d’effecteurs (Tableau 3) qui agissent à différents niveaux d’abstraction.

Tableau 3 : Exemples d’effecteurs avec leurs emplacements et utilisations

Type d’effecteur	Emplacements caractéristiques	Utilisations
DEL	Tiroir, placard, étagère	Attire l’attention de manière discrète sur un emplacement.
Chenillard	Electroménager, rangement	Attire l’attention de plusieurs manières possibles en transmettant éventuellement un message simple.
Écran LCD	Électroménager, tables de travail, téléphone	Apporte un message concret, court ou long, de manière tangible et localisée. Par exemple, en affichant les numéros de téléphone souvent utilisés, le mode d’emploi de la machine à café ...
Écran tactile	Salon, cuisine, SDB	Apporte un message complet, avec possibilité d’interaction directe et intuitive de l’utilisateur [Bauchet et al., 2006].
Contrôle électrique	Partout	Une centrale de contrôle permet d’actionner à distance tous les appareils électriques branchés dans l’HIS. On peut par exemple attirer l’attention en faisant clignoter une lampe ou agir sur la puissance lumineuse d’une pièce pour adapter l’ambiance ...
Hauts-parleurs	Partout	Des hauts-parleurs disséminés dans un HIS peuvent permettre de faire suivre la musique d’un résident avec ses déplacements, d’attirer son attention sur un problème détecté ou encore de lui venir en aide si besoin.
Projecteur	Salon, cuisine	De la même manière que des écrans LCD, des projecteurs peuvent afficher de l’information en temps réel et, grâce à une motorisation, sur n’importe quel support quelle que soit sa localisation.

Pour passer un message plus clair et plus direct, le système peut utiliser des écrans (TV, écran de contrôle à la cuisine, projection sur le miroir dans la salle de bain...) et des systèmes de son (hauts-parleurs et microphones) pour communiquer par image, son ou parole. Dans une dernière étape d’intervention (il s’agit d’une mesure de sécurité dans ce cas), les appareils électroménagers sont parfois également équipés de capteurs et d’effecteurs qui agissent à la place de la personne par exemple en éteignant

les plaques électriques de la cuisinière ou en offrant des informations contextuelles dans le cas des interfaces tangibles [Boussemart, B. et Giroux, S., 2007].

Il existe plusieurs types de profils utilisés dans la littérature et à des fins variées. Des projets mettent en œuvre des profils pour les usagers en utilisant des informations techniques destinées à l’identification d’appareils sans-fils dans les protocoles pour les réseaux à domicile [Lee et al., 2007]. Ce projet apporte des pistes intéressantes pour les gestions de conflits mais ne suggère aucune solution médiane, choisissant toujours un dominant.

Un projet explore la personnalisation appliquée à des profils, en identifiant une personne qui se déplace dans un environnement virtuel [Bougant et al., 2003] afin de pouvoir présenter une liste de services disponibles. Aucune solution de gestion de conflit n’est toutefois proposée, puisque la recherche ne se concentre que sur la détection.

En poussant la personnalisation, [Ziegler et al., 2006] s’intéresse à la sécurité des profils des personnes dans les HIS, puisque ces profils peuvent contenir des informations médicales confidentielles. La découverte des profils n’y est toutefois pas mentionnée.

Enfin [Groppe et Mueller, 2006] proposent un modèle de développement d’un profil d’une personne dans un habitat intelligent et la gestion de la personnalisation de l’environnement pour un tel profil. Encore une fois aucune solution de gestion de conflit pour deux personnes en simultanée n’est avancée.

Beaucoup de projets utilisent un système de profils pour rassembler des informations sur des appareils ou des personnes. Très peu d’entre eux en revanche n’allient des caractéristiques (surdité, vitesse de déplacement : pour adapter et sécuriser l’environnement), des préférences (niveau de lumière, niveau sonore : pour rendre plus agréable la vie quotidienne), des habitudes (apprendre les gestes récurrents pour mieux

détecter l’activité courante) et un agenda (connaître les rendez-vous et les tâches à faire). D’autre part la gestion de conflits reste très peu explorée dans le cadre de la personnalisation de l’environnement. Ce domaine de recherche est à développer.

2.2.4 Solutions d’interactions retenues

Les capteurs anonymes cités seront tous utilisés (détecteur de présence infrarouge, tapis tactiles, débitmètre, contacts de porte et tiroirs) dans la mesure du possible afin de donner les meilleurs résultats dans le système de localisation. En effet, bien que les technologies de capteurs identifiants en deux parties (UWB, RFID) soient disponibles, l’orientation de la recherche vers un système indépendant de l’équipement des personnes enlève la possibilité de leur utilisation. Un système de badge RFID sera toutefois utilisé pour identifier les personnes à leur entrée dans l’HIS afin de donner un point de départ à l’identification. Tous les effecteurs possibles mentionnés (écrans, chenillards, DEL...) seront utilisables et le système de personnalisation de l’environnement et d’assistance aux personnes utilisera toutes les ressources disponibles pour répondre au mieux aux besoins des personnes. Pour assurer une personnalisation accrue, un profil sera défini pour chaque personne régulièrement présente et un profil neutre pour les autres.

2.3 La gestion multi-personnes

La plupart des HIS fondent leur recherche sur la présence d’une seule personne à la fois. C’est une hypothèse qui simplifie beaucoup la gestion de la localisation et la plupart des solutions d’assistance. Toutefois, pour considérer une situation réelle, il faut prendre en compte la possibilité de personnes extérieures à l’HIS qui viendraient en visite et même la possibilité d’une vie en couple pour les personnes concernées par ces habitats. Cette partie présente les travaux concernant la gestion multi-personnes dans les domaines de localisation et d’identification (2.3.1) et de gestion de profils et de conflits (2.3.2). La section 2.3.3 présente une conclusion et la solution retenue.

2.3.1 Localisation et identification multiple

Que ce soit pour la supervision ou pour l’assistance cognitive, un des éléments essentiels de l’analyse est la localisation du résident. Un très grand nombre d’applications nécessitent, pour mieux personnaliser leurs résultats, d’avoir un sens précis du contexte et la première composante du contexte est toujours le lieu dans l’espace où se déroule l’activité. Il existe plusieurs types de localisation qui utilisent des caméras vidéo ou d’autres capteurs, anonymes ou identifiés.

La localisation par caméras vidéo est assez robuste comme le montre [Barsamian et al., 2006] et utilise parfois des caméras infrarouges pour améliorer la détection. On trouve également des projets d’identification d’un orateur dans une salle de conférence [Vajaria et al., 2006] ou même de lecture sur les lèvres [Delmas et Lievin, 2002] pour améliorer les résultats. Dans d’autres espaces intelligents, on trouve des projets de localisation alliant de multiples caméras et des tapis tactiles pour suivre plusieurs personnes à la fois [Yu et al., 2007]. Ces projets sont très intéressants dans certains domaines publics (administration, militaire, enseignement), mais en considérant le contexte général de vie privée des HIS, il est peu probable qu’ils y soient applicables. En effet, selon [Demiris et al., 2008], les personnes âgées ont une préférence pour les

technologies qu’elles jugent non intrusives et les capteurs vidéo restent encore une cause de réticence envers les HIS.

Dans d’autres laboratoires plus orientés vers la vie privée, il existe des modules de localisation fondés sur des capteurs anonymes. Dans le laboratoire DOMUS par exemple, le projet de localisation Dynamo [Rahal et al., 2007] est fondé sur un filtre à particules bayésien. Ce filtre localise une perturbation dans l’environnement (l’HIS) en calculant l’épicentre d’un nuage de particules qui sont attirées par une gravité simulée autour des événements déclenchés (un tapis tactile, un capteur magnétique, un capteur de mouvement infrarouge ...). AFIRM pour TIMC-IMAG utilise également un système de localisation statistique par capteurs anonymes [Noury et al., 2002] avec des détecteurs volumétriques infrarouges et des contacts électromagnétiques.

Cette méthode de localisation est souvent utilisée mais présente un inconvénient majeur dans notre cas : il ne doit y avoir qu’une seule personne à la fois dans l’appartement. L’aide aux personnes atteintes de troubles cognitifs requiert souvent la présence d’un aidant [Rialle et al., 2008] et lorsque cette personne ou simplement un visiteur entre dans l’appartement, les systèmes de reconnaissance d’activités et d’assistance peuvent être sujets à confusion, ne déterminant pas la présence de deux personnes, mais plutôt la présence d’une personne à deux endroits de l’HIS. Un système pouvant détecter plusieurs personnes simultanément est donc requis.

Dans la littérature, la plupart des approches de localisation multiple utilisent un «capteur identifiant » comme une carte UWB (Ultra Wide Band) [Jourdan et al., 2005] ou un tag RFID [Hahnel et al., 2004]. Ces travaux donnent de très bons résultats mais nécessitent que les personnes portent la partie identificatrice. Dans le cadre d’un habitat intelligent pour des personnes ayant des troubles cognitifs comme des troubles de mémoire par exemple, fonder un système de localisation ainsi peut conduire à un dysfonctionnement si la personne oublie de porter son capteur. D’autre part, les visiteurs de l’appartement ne seraient pas pris en charge.

Certaines approches (en particulier utilisées en robotique) se basent sur un sens de vision : soit un capteur embarqué, soit une caméra dans l’environnement avec reconnaissance de forme comme dans [Rahardja et Kosaka, 1996]. Cette solution présente toujours le dilemme de préservation de la vie privée des personnes.

D’autres solutions proposent une localisation multi-agents sans identification (détection anonyme ou fondée sur une reconnaissance visuelle) comme par exemple la gestion de flux routiers [Mamei et al., 2003] qui pourrait être appliquée aux humains, mais l’utilisation de caméra vidéo est un bémol pour notre recherche. Enfin, il existe un modèle de localisation et de suivi de cibles multiples en utilisant un système multi-agents réactif [Gechter et al., 2006] qui semble proposer une solution adéquate pour ce problème sans toutefois identifier les cibles en tant que telles. Assister ou superviser des personnes dans un appartement nécessite la possibilité d’identification exacte des présences détectées par le système de localisation. En effet, l’assistance et la personnalisation de l’environnement ne seront pas les mêmes et n’obéiront pas aux mêmes règles pour le résident permanent de l’appartement, pour le médecin en visite, pour l’aidant naturel ou encore pour un ami du résident.

Une autre solution est celle des dalles intelligentes [Helal et al., 2005; Yun et al., 2008]. Ces dalles donnent la pression exercée sur chacune d’elles et, au moyen d’un filtre, il serait possible de localiser et d’identifier de manière relativement sûre les personnes. Cette solution n’est toutefois pas encore complètement développée et présente un inconvénient : son coût d’installation élevé dans un appartement existant. C’est néanmoins une solution qui peut être très intéressante dans un espace restreint dans lequel l’identification et la localisation se doivent d’être très précis, comme la cuisine par exemple.

Les solutions de localisation qui existent peuvent être adaptées pour y ajouter de l’identification, même si celle-ci peut demeurer incertaine. Une solution multi-agents est un choix qui permet de faire correspondre un processus de localisation par personne, simplifiant ainsi l’identification subséquente. Une fois localisées et identifiées, les

personnes doivent ensuite pouvoir recevoir une personnalisation de l’environnement appropriée et correspondant à leur profil. Des conflits émergent lorsque deux personnes ou plus sont présentes dans le même espace de personnalisation. La section suivante explore les possibilités de gestion de conflit de profils multiples.

2.3.2 Gestion de profils et de conflits

L’assistance multi-personnes dans un appartement intelligent se compose de plusieurs aspects. Plusieurs personnes peuvent en effet partager le même espace de vie et posséder des profils différents. Le système doit pouvoir gérer les profils différents simultanément. La personnalisation de l’environnement qui se base sur les informations de ces profils doit prendre en compte tous les profils présents dans l’espace considéré. Cela implique une gestion des conflits qui peuvent survenir entre les utilisations des ressources de l’HIS.

En considérant des profils concurrents et les conflits qui peuvent émerger, il existe dans la littérature des travaux qui se consacrent à la gestion de multiples profils réseaux (et leurs résolutions de conflits) pour des machines portables sans fils mais ils utilisent des algorithmes de résolution fondés sur le partage temporel ou spectral [Bai et Chen, 2006] des ressources (chaque appareil l’un après l’autre ou dans des canaux différents) qui ne sont pas employables dans le cas des HIS (les entités qui accèdent aux ressources sont humaines). Plus à propos, il existe des travaux de personnalisation de l’environnement [Hong et al., 2005; Yang et al., 2006] ou d’interfaces tangibles [Boussemart et Giroux, 2007] mais qui se basent sur une seule personne à la fois, donc sans gestion de conflits d’accès concurrents.

Dans certaines approches orientées vers les humains, chaque personne est représentée par un agent déterminé à accomplir ses buts (c’est-à-dire personnaliser l’environnement selon son profil – pouvant représenter ses préférences ou ses objectifs) et rentrant en conflit avec les autres agents. Une solution fondée sur une approche de type de jeu stochastique comme dans [Das et al., 2006] permet de gérer les conflits en maximisant les gains pour chaque agent, et donc pour chaque personne. En adaptant

cette solution à notre domaine, on peut imaginer rajouter des poids plus importants aux agents responsables des personnes vivant dans l’appartement par rapport aux invités, afin de considérer les gains des résidents (donc leur satisfaction) comme plus importants que ceux des autres. Cela nous propose une solution pour un conflit opposant deux catégories de personne. Entre deux personnes de même catégorie les conflits nécessitent plus de médiation.

Des travaux sur le partage des plates-formes multimédias entre plusieurs personnes [Shin et al., 2007] présentent une solution d’apparence élégante pour agir en tant que médiateur et proposer les choix de médias (films ...) qui incluent des critères de chaque personne pour garder une harmonie dans la communauté. On peut imaginer des propositions médiatrices d’un système de personnalisation de l’environnement pour satisfaire toutes les personnes présentes dans l’HIS. Les critères communs pour la médiane seraient alors les parties de profils qui correspondraient à la même action dans l’environnement, c’est-à-dire les similitudes dans le contexte désiré (niveau de lumière demandé équivalent, même si de source différente par exemple).

Dans leur recherche, [Park et al., 2004] proposent un framework de gestion de conflits de contexte pour les applications qui recherche des ressources pour réagir différemment en fonction du contexte. Une solution intéressante pour des applications localisées (utilisation du téléphone, de plusieurs écrans proches...), mais qui reste floue au niveau de l’utilisation des profils. Cette solution prend en compte les besoins matériels d’une application et non les besoins de ressources de haut niveau d’une personne (comme un besoin d’aide, quelque soit le média utilisé).

Avec plus de recul, [Kim et Kim, 2006] proposent une gestion de conflits fondée sur les buts en considérant l’HIS comme un robot avec des intentions différentes et la nécessité de les faire cohabiter. Cette approche semble très centralisée puisqu’elle considère une gestion « omnisciente » des intentions du système. Dans le cadre du suivi de plusieurs personnes dans un HIS, elle perd le point de vue local de personnalisation

de l’environnement – un tel point de vue local est très intéressant pour interagir de manière proche et contextuelle avec les personnes.

On trouve également des travaux qui traitent de politique de gestion de conflits dans le cas de plusieurs profils, mais ils concernent en général des domaines tels que les télécommunications, avec la gestion des capacités des unités mobiles considérées [Ganna et Horlait, 2003]. On peut faire le parallèle entre les unités mobiles et des personnes rentrant en concurrence pour la personnalisation dans l’appartement, mais les unités mobiles peuvent répartir leurs besoins dans le temps (multiplexage temporel) alors que ce n’est pas une solution envisageable directement dans le cas des humains. En effet, si on a besoin de la TV pour afficher un message, deux dixièmes de seconde alloués chaque seconde ne vont pas être adaptés, mais en considérant les interactions comme atomiques (non sécables), le concept de partage temporel (un message après l’autre) est entreprenable.

2.3.3 Solutions de gestion multi-personnes retenues

La solution de localisation la plus adaptée pour le domaine des HIS est une solution de multiples agents intelligents représentant chacun une personne. Cette solution présente l’avantage de maintenir une indépendance de chaque personne claire et définie. En y ajoutant une identification comme le badge à l’entrée, il faut ensuite garantir le maintien de la cohérence dans le suivi des personnes afin de pouvoir les assister selon leur profil personnel. Plusieurs personnes à assister donne donc lieu à plusieurs profils concurrents pour des accès locaux aux ressources du HIS.

La solution la plus maléable pour la gestion de profils et de conflits est celle d’un jeu stochastique pour chaque agent affecté à une personne. La gestion de conflits sera alors un calcul de maximisation des intérêts de tous les agents concernés, avec la répartition idéale des poids selon les priorités des personnes présentes. La section suivante propose des pistes de structure pour un tel système multi-agents.

2.4 L’architecture du système

Un système comme celui qui est conçu pour ce projet de recherche nécessite une structure à la fois solide et robuste et en même temps adaptable et modulaire. Son intégration dans un environnement intelligent particulier comme le HIS est un cas particulier, mais il est possible de prévoir une structure qui permettra l’adaptation

Le principe même d’informatique ubiquitaire, de personnalisation de l’environnement et d’assistance aux personnes dans un HIS incite à considérer l’environnement autour de chaque personne. L’environnement local est pour chaque personne ce qu’elle perçoit en premier et donc un point essentiel. L’environnement global est ainsi la conjonction des environnements locaux de toutes les personnes présentes dans l’HIS. L’architecture du système de personnalisation de l’environnement et d’assistance aux personnes doit donc posséder une structure décentralisée dont toutes les parties communiquent entre elles. Les solutions de localisation et de gestion de profils et de conflits retenues utilisent les systèmes multi-agents et l’émergence [Gleizes *et al.*, 2008] attendue est la personnalisation et l’assistance des personnes.

Le principal avantage des systèmes multi-agents en tant que solution de localisation multiple est l’autonomie et l’indépendance de chaque agent pour faire miroir aux humains qu’ils représentent. Chaque agent est capable d’une vie virtuelle et d’un suivi d’événements indépendants de la réussite des autres. Ce schéma de conception correspond tout à fait à un suivi humain. Même si les agents sont fondés sur le même schéma originel de fonctionnement, ils sont toutefois capables d’interpréter et d’utiliser les connaissances acquises par les autres agents. Un agent de localisation ayant fait une découverte d’une nouvelle source d’information de contexte (un nouveau capteur ajouté dynamiquement par exemple) pourra le communiquer à ses pairs. Ainsi, des "révélations" ou simplement des ajouts de cas possibles (nouveau capteur) et des possibilités de traitement correspondantes (nouvel appareil à forte puissance de calcul

disponible pour migration d’agent) font partie des communications attendues entre les agents.

Les contraintes et les attentes apparentes pour l’architecture et les plateformes de développement sont le besoin d’un fonctionnement sur des appareils différents, des plateformes variées, plusieurs systèmes d’exploitations, les intérêts pour la migration des agents en fonction des ressources disponibles et l’utilisation intelligente du réseau.

Les plates-formes de développement multi-agents proposent souvent des orientations particulières de conceptualisation puisque les systèmes multi-agents ont des applications très variées [Ferber, 1995]. Plusieurs plates-formes sont disponibles [Shakshuki et Jun, 2004] :

- MadKit [Gutknecht et Ferber, 2001] propose une orientation Agent, Groupe, Rôle et de nombreux outils mais reste une infrastructure très lourde pour du temps réel.
- Les Aglets D’IBM [Tai et Kosaka, 1999] possèdent une orientation Réseau, Déplacement et Adaptabilité. Cette solution est très intéressante mais très lourde en communication réseau. Comme la plupart des communications dans l’appartement se feraient sans fils, on souhaite soulager la bande passante au maximum.
- JACK [Evertsz et al., 2004] est une plate-forme à orientation Croyance, Désir, Intention et semble proposer une solution adéquate, mais ne possède pas d’adaptation pour les appareils mobiles.
- JADE [Balachandran, 2008] propose une plate-forme de design d’agent relativement légère, intègre la gestion des appareils mobiles et propose plusieurs choix de structure du système ainsi que des outils de définition de protocoles et de sémantique entres agents.

Dans la partie de développement du module de localisation, il semblait que plus à même de donner une bonne direction à ce projet était JADE. Après plusieurs essais sur les différentes plates-formes (MadKit et JACK), un prototype de système multi-agents pour la localisation multiple a été développé en utilisant JADE. Bien qu’il soit très pratique pour le développement, des questions se sont posées face à la complexité grandissante du système, en relation avec la réutilisation dans d’autres espaces intelligents ou les interactions avec des agents externes au système. Comment prévoir l’organisation du système multi-agents pour optimiser son fonctionnement, son adaptabilité, sa modification, sa portabilité et son utilisation dans un cadre légèrement ou très différent de l’habitat intelligent ?

Des pistes de recherche sont données dans le domaine de l’organisation à l’École des Mines de Saint-Étienne, au laboratoire de système multi-agents où est développée une plate-forme de conception de système à base d’organisation [Boissier et al., 2007; Hubner et al., 2006]. Le choix de cette démarche nous permet également de repenser le système au complet avec toutes ses implications, d’en concevoir l’organisation plus précisément et de gérer le poids de chaque partie. En adaptant la méthodologie de réflexion d’organisation, on propose l’étude développée dans le 3.3.

L’organisation des systèmes multi-agents nous assure du respect de leurs fonctionnalités prévues, dans le cas de ce système une structure cohérente de l’assistance et de la personnalisation de l’environnement tout en garantissant une facilité accrue d’adaptation et de portabilité du système dans un cas particulier (agent externe au système) ou différent (un autre espace intelligent par exemple). C’est l’atout de ce projet qui en fait une solution générale à l’opposé d’une réalisation *ad hoc*.

2.5 Synthèse des solutions retenues

De nombreuses pistes ont été étudiées dans les domaines de reconnaissance d’activités, d’interactions avec l’environnement, de gestion multi-personnes et d’architecture du système. Cette partie propose une synthèse des solutions intéressantes pour ce doctorat. La section 2.5.1 décrit les inspirations trouvées et les choix effectués dans les solutions étudiées et la section 2.5.2 donne une conclusion de la solution retenue.

2.5.1 Inspirations

Pour pouvoir assister et personnaliser l’environnement pour plusieurs personnes dans un HIS, le système doit être capable non seulement de suivre les déplacements de plusieurs personnes dans l’appartement, mais également de détecter leurs activités et de les assister en personnalisant l’environnement local en fonction de leur besoins.

Le domaine d’application impose ici des contraintes fortes en matière de vie privée et un des choix de ce doctorat est de ne pas utiliser de technologie jugée intrusive par les personnes concernées [Rialle et al., 2008]. Par conséquent l’utilisation de caméras vidéo dans l’appartement n’est pas envisagée. D’autre part, l’optique de vouloir assister une personne et ses visiteurs en tout temps et de manière transparente implique de réduire, voire de supprimer complètement les technologies portées sur la personne.

L’identification des personnes dans l’appartement est un point extrêmement compliqué et peu fiable sans étiquette identificatrice ou reconnaissance vidéo. Ce choix de restreindre les possibilités en matière de capteurs de données oblige le système à ne déterminer que si nécessaire l’identité de chaque personne suivie à partir des données anonymes. L’identification des personnes en tant que telle doit donc être inférée, par exemple d’un ensemble d’algorithmes prenant pour paramètres les habitudes, les

propriétés et les profils de chaque personne. Ces algorithmes peuvent tenir compte de leurs positions antérieures présumées et de leurs trajectoires probables.

Il est intéressant d’étudier la solution d’agents peu intelligents mais très réactifs à la place de particules dans une localisation par filtre de particules de [Gechter et al., 2006] afin d’y adapter un modèle d’identification, puisqu’elle semble être appropriée pour une localisation sans données *a priori*, mais le principe d’agrégation d’agents ne se prête pas aisément à l’identification et donc à la personnification désirée car les agents n’ont pas de conscience ni d’inférence sur cette agrégation. D’autre part, cette solution d’agents réactifs dans son ensemble possède une grande inertie du fait de sa conception en champs de forces et devient problématique pour de la localisation de personnes dans un appartement intelligent. Il existe donc, ainsi que mentionné précédemment, des approches visant à résoudre des problèmes similaires mais jamais de solution complète proposant la localisation de cibles multiples avec l’identification de ces cibles.

La solution algorithmique de localisation du filtre à particules bayésien convient bien au traitement des capteurs anonymes, mais en prenant un filtre pour chaque personne. Pour pouvoir personnaliser localement et de manière transparente l’environnement pour plusieurs personnes, des traitements indépendants et délocalisables sont requis. Les systèmes multi-agents proposent une solution élégante, avec des traitements pour chaque personne autonome et une bonne cohésion dans l’HIS grâce à la communication et l’organisation qu’on peut y introduire.

2.5.2 Solution retenue

Plusieurs pistes ont été données pour chaque domaine, de localisation, d’identification, de gestion multiple, de personnalisation, d’assistance, de capteurs et d’effecteurs. Les contraintes que l’on souhaite honorer, pour respecter la vie privée des personnes, garantir la sécurité du système et garder une porte ouverte vers une évolution d’espace intelligent, nous permettent d’opérer une sélection sur les solutions présentées dans ce chapitre.

Avec les composantes techniques et technologiques (capteurs, plateformes, effecteurs) que nous possédons actuellement dans le laboratoire, la solution retenue est un système multi-agents conçu avec une organisation axée sur l’individu, la personnalisation de son environnement et les interactions avec ses pairs et l’environnement. Chaque agent représentant un individu utilise un filtre à particules bayésien pour inférer sa localisation.

On base l’identification sur un suivi après une certitude (badge RFID) à l’entrée du HIS. Des données représentant les habitudes, les préférences, les handicaps et l’agenda de chaque personne forme un profil. L’assistance et la personnalisation de l’environnement sont gérées en maximisant les avantages pour chaque profil, tout en introduisant un système de priorité pour différencier les catégories de personnes dans l’appartement.

Certains points de recherche restent encore à définir, afin de permettre l’adaptation du système multi-agents pour permettre la localisation multiple et de proposer un système d’identification effectif ou de mettre en place de dalles intelligentes. Ensuite de cela, nous décrirons la résolution des conflits pour les profils et l’organisation du système multi-agents pour permettre une adaptabilité (à d’autres agents ou d’autres espaces) et une intégration plus grandes dans l’environnement.

Chapitre 3 – Méthodologie : pour une personnalisation de l’environnement

Pour proposer un système d’assistance et de personnalisation de l’environnement qui soit utilisable par des personnes réelles, il faut adapter et tester ce système pour des cas concrets de la vie quotidienne. En définissant des scénarios, on peut présenter les personnes, les problèmes et les solutions que le système peut apporter. Ainsi, la preuve de concept de cette thèse sera faite si on obtient une réponse du système d’assistance et de personnalisation qui correspond aux attentes formulées dans les scénarios proposés au cours de ce chapitre. Ces scénarios peuvent également servir de cas d’utilisation pour la conception et le développement du système.

La section 3.1 présente la scénarisation et l’analyse informelle des objectifs visés afin de présenter des exemples concrets de « *storyline* » et de fonctionnement échéant désiré. On y décrira l’habitat, les rôles des participants, les activités et ce qu’elles mettent en valeur et enfin les scénarios eux-même. A partir de ces cas d’utilisation définis, la section 3.2 propose une méthodologie de mise en œuvre, détaillant les axes suivis en matière de détection humaine, de personnalisation et d’assistance, d’organisation structurelle et fonctionnelle du système ainsi que les limites que ces choix imposent sur la conception et le développement. Une conclusion (3.3) vient faire le point sur l’application de ces méthodologies dans le cadre des scénarios proposés.

3.1 Scénarisation et analyse des objectifs

Cette section présente le contexte de cinq scénarios de vie quotidienne qui ont lieu dans l'appartement intelligent pour un couple de résidents, un ami, une infirmière, un médecin et une aidante professionnelle. Ces scénarios mettent en scène jusqu'à trois personnes en même temps dans l'appartement, en décrivant leurs activités, leurs actions et la réaction informelle attendue de l'environnement. Ceci nous permettra par la suite d'analyser les objectifs fonctionnels et ainsi de produire une solution plus à même de répondre aux besoins exprimés. Nous décrivons d'abord les zones de l'habitat (3.1.1) pour mettre en contexte les scènes et les activités des personnes, puis la distribution des rôles dans les scénarios (3.1.2) afin de présenter les protagonistes. La section 3.1.3 détaille ensuite les activités qui seront décomposées dans les scénarios pour mettre en valeur le fonctionnement du système dans des cas de vie quotidienne. Les lieux, les personnes et les objectifs étant fixés, la dernière partie (3.1.4) propose enfin les cinq scénarios complémentaires qui illustreront les problèmes principaux à résoudre.

3.1.1 Les zones de l'habitat

Pour simplifier la gestion de la localisation, augmenter le traitement local de la personnalisation de l'environnement et accélérer la détection d'activités, on découpe l'HIS en zones basées sur les catégories d'activités qui s'y déroulent. On délimite les zones de l'HIS en fonction des capteurs qui leur sont associés. L'habitat intelligent dans lequel sont joués les scénarios est celui du laboratoire DOMUS (Figure 1).

À chaque zone est associée une liste d'activités potentielles. L'assistance et la personnalisation locale seront développées autour de cette liste, utilisant les médias de communication de la zone pour interagir avec l'utilisateur. Ces zones sont la chambre, la salle de bain (SDB), le hall d'entrée, la cuisine, le salon et la salle à manger (SÀM). Au cours de l'évolution du système et de la granularité des capteurs (augmentation du nombre de capteurs en fonction de la surface) dans le futur, il sera intéressant d'évaluer des zones plus petites afin de réduire le nombre d'activités possibles dans chacune d'elles.

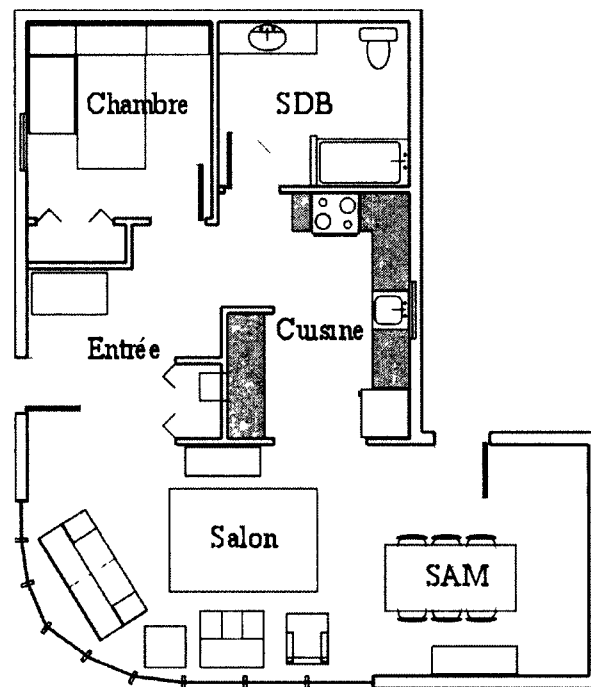


Figure 1 : Plan de l'HIS de DOMUS

Exemple d'activités localisées :

- Salon : lire le journal, regarder la TV.
- Cuisine : préparer un café, prendre des médicaments, préparer à manger.
- Chambre : dormir, s'habiller.
- SDB : se laver, aller aux toilettes, se brosser les dents, se raser.
- Entrée : entrer, se déchausser, ranger son manteau.
- SÀM : mettre la table, manger, débarrasser la table

Certaines activités ne sont pas localisées et poseront plus de problème pour l'assistance car elles ne dépendent pas d'une pièce précise. Par exemple, avec un téléphone sans fil dont la base est dans le salon, l'activité de téléphoner est statistiquement plus probable dans le salon, mais peut se produire dans toutes les pièces. Pour fournir l'aide pour l'action de téléphoner, par exemple l'affichage des

numéros souvent employés et du calendrier, le système devra trouver un médium de communication adapté, par exemple chercher un écran proche de la personne pour lui transmettre ces informations. Passer l’aspirateur est une autre activité qui n’est pas localisée mais qui commencera très probablement à l’endroit de rangement de l’aspirateur.

3.1.2 La distribution des rôles dans les scénarios

Les scénarios présentés dans ce chapitre mettent en action plusieurs personnes dans un habitat intelligent. René et Jeanne sont un couple de résidents. René a eu un accident et souffre d’un traumatisme crânien. Jeanne, son épouse, est en bonne santé. Aïdi est une aidante professionnelle (préposée aux bénéficiaires) qui fait les commissions et le ménage pour René et Jeanne. Ingrid est une infirmière à domicile qui vient aider René pour ses exercices de rééducation et Mehdi est le médecin de famille de René et Jeanne qui réalise ses visites à domicile. Enfin, Victor est un voisin, également résident d’un HIS et qui rend fréquemment visite à René.

Les profils utilisés dans les scénarios pour définir les préférences sont des recueils d’informations que l’on organise en plusieurs catégories : assistance, personnalisation, priorité ... Pour le profil de René par exemple, la catégorie d’assistance « Task » (Figure 2) rassemble les informations que l’on peut utiliser dans le système pour assister René dans ses tâches de la vie quotidienne. Des niveaux d’aide sont configurables pour les tâches : Initial, Médium, Elevé. L’aide initiale est une présentation du fonctionnement général, une recette ou une liste de choix. C’est le choix par défaut dans cette implémentation. Il serait possible de décider de ne pas présenter d’aide du tout par défaut mais un accueil minimal pour tous semble convivial et présente l’appartement comme un lieu de technologie, moins stigmatisant pour les résidents qu’un appartement qui affiche de l’assistance uniquement pour les personnes souffrant d’une déficience cognitive. L’aide Médium présente le détail des actions à faire avec une assistance ubiquitaire éventuelle. L’aide de niveau Élevé assiste au maximum la personne pour garantir sa sécurité et la réalisation complète de l’activité.

Pour tous les niveaux d'aide, l'activité personnalise l'environnement, par exemple en ajustant la lumière. Pour René, l'assistance pour le dîner (repas du soir) est de niveau élevé alors qu'il ne nécessite pas d'assistance particulière pour le déjeuner car René fatigue plus facilement et par conséquent se trompe plus souvent le soir.

<i>Assistance : exemples d'activités prises en charge pour l'assistance</i>	
<pre><Profile> <name>Rene</name> <tasks></pre>	Profil pour René Partie Assistance
<pre> <Task> <id>phone</id> <area> <id>5</id> <name>Salon</name> </area> <level>1</level> <timeTable> <start/><end/> </timeTable> </Task></pre>	Tâche : Faire ou recevoir un appel Localisation : dans le salon Niveau d'assistance : Initial Horaire : Toujours
<pre> <Task> <id>diner</id> <area> <id>6</id> <name>SAM</name> </area> <level>3</level> <timeTable> <start>17h15</start> <end>19h30</end> </timeTable> </Task></pre>	Tâche : diner Localisation : dans la salle-à-manger Niveau d'assistance : Élevé Horaire : entre 17h15 et 19h30
<pre></tasks></pre>	Fin des tâches

Figure 2 : Extrait en formalisme XML du profil de René : Assistance des tâches.

Une autre section du profil contient les informations de personnalisation de l'environnement, par exemple le fait d'allumer la radio le matin, l'ouverture des rideaux plutôt que les lampes au réveil, l'arrêt du son de la TV lorsque le téléphone sonne, et

généralement tous les éléments qui peuvent permettre au résident de se sentir bien dans l'appartement et éventuellement de pallier des oublis naturels ou prévus par un diagnostique, si René souffre de troubles de la mémoire. Les autres sections du profil ont des orientations plus techniques et seront explicitées ultérieurement.

Le profil de Jeanne est similaire sans toutefois comporter d'assistance particulière. Si Jeanne est diagnostiquée comme ayant des troubles cognitifs, il suffira de lui rajouter la catégorie d'assistance en paramétrant le niveau de l'aide pour ses activités quotidiennes.

Les profils des personnes en visite sont créés par défaut dès leur entrée dans l'HIS pour uniformiser la gestion de conflits de profils. Ils comportent les mêmes sections mais contiennent des valeurs par défaut (lumière moyenne, assistance initiale) et un traitement de la catégorie d'assistance en priorité inférieure à celui des résidents dans la plupart des cas. Ainsi on ne confondra pas un résident avec un visiteur mais, en cas de conflit, les préférences du résident prendront le dessus.

3.1.3 Les activités décrites dans les scénarios

Les scénarios présentés dans la section 3.1.4 sont des extraits de la vie quotidienne. Pour les rendre plus concrets, ils présentent chacun quelques activités, avec le moment qui précède et le moment qui suit la fin des activités. Chaque activité peut être composée de plusieurs sous-activités, séquentielles ou parallèles. Cela permet de mettre en évidence la mise en place du système, l'adaptation et la personnalisation simple de l'environnement (lumière, détection de l'activité...), l'assistance pour chaque activité pour la personne adéquatement identifiée puis la fin de l'assistance et le retour à la surveillance passive.

Les activités décrites dans ces scénarios sont :

- Routine matinale (se lever, s'habiller, se laver, déjeuner). Cette activité met en valeur le suivi d'une personne, la détection d'activités et l'assistance des tâches sans conflits. René effectue cette activité dans le scénario 3.1.4.1.
- Regarder la TV et recevoir un appel téléphonique. Cette activité montre la gestion parallèle de deux activités distinctes et l'assistance adéquate. René effectue cette activité avec la participation d'Aïdi dans le scénario 3.1.4.1.
- Visite du médecin. Cette activité présente la gestion multi-personnes de suivi, d'identification, et d'assistance profilée. Mehdi, le médecin de René, rend visite à René dans 3.1.4.2.
- Visite du médecin et de l'aidante. Cette activité met en évidence les besoins de gestion de la vie privée ainsi que la gestion de trois personnes et donc de trois profils. Aïdi, aidante professionnelle, rend visite à René durant la visite de Mehdi dans 3.1.4.2.
- Entrée de René dans l'appartement et préparation du thé. Cette activité montre la personnalisation de l'environnement pour une seule personne. René rentre chez lui dans le scénario 3.1.4.3.
- Visite de l'infirmière. Cette activité met en valeur la gestion des conflits avec une personne externe et la gestion de deux personnes en une même zone d'activité. Ingrid vient pour la rééducation de René dans le scénario 3.1.4.3.

Les trois activités suivantes mettent en action Jeanne et René dans le scénario 3.1.4.4 :

- Préparation du repas et arrivée de Jeanne. Cette activité présente l'assistance et la gestion d'un deuxième résident dans l'appartement.

- Visionnement d'un DVD (Jeanne) et lecture (René). Cette activité met en évidence la gestion de conflits dans deux activités concurrentes dans la même zone d'activité par deux personnes résidentes.
- Routine du coucher. Cette activité illustre la supervision des résidents d'un point de vue médical (prise de médicaments par exemple).
- Visite d'un voisin requérant de l'assistance. Le scénario 3.1.4.5 met en scène cette activité et montre l'insertion d'une autre personne assistée extérieure, possédant déjà son propre profil.

Ces activités sont des épisodes de la vie quotidienne et ne prétendent pas représenter tous les cas possibles de conflits. Toutefois elles permettront de définir les cas d'études ainsi que les réponses souhaitées du système de personnalisation et d'assistance. Elles permettront aussi d'évaluer le comportement réel des systèmes implémentés et leurs limites.

3.1.4 Scénarios

Cette section présente cinq scénarios qui mettent en action René (Résident), Aïdi (Aidante), Mehdi (Médecin), Ingrid (Infirmière), Jeanne (Résidente) et Victor (Voisin et résident d'un autre HIS) dans l'HIS de René et Jeanne. Plusieurs activités sont complétées dans chaque scénario, et l'ensemble met en valeur des comportements particuliers du système (suivi de multiples personnes en simultanée, gestion d'activités concurrentes...).

Les scénarios sont présentés sous forme de tableaux qui détaillent le moment d'une action (Heure) et les actions des personnages impliqués (Actions Humaines) puis la zone d'activité de chaque personne présente dans l'appartement (telle que détectée) avec des précisions supplémentaires lorsque c'est possible (Infos des personnes), l'activité inférée de chaque personne présente dans l'appartement (Activité inférée) et

les actions souhaitées du système en réponse (Actions du système). Les actions du système mentionnées dans les tableaux sont les actions minimales et ne se veulent en aucun cas exhaustives ou limitantes. Ces scénarios ont fait l'objet d'une validation informelle par Vincent Rialle (Vice président du Centre National de Référence Santé à Domicile et Autonomie et Maître de conférences-praticien hospitalier) et Hélène Pigot (Ergonome et Professeur).

Ces scénarios illustrent un résident et plusieurs activités (3.1.4.1), un résident avec plusieurs visiteurs et la gestion de la vie privée (3.1.4.2), l'entrée d'un résident et la gestion d'activités effectuées par deux personnes à la fois (3.1.4.3) et enfin la cohabitation de deux résidents et la gestion des conflits induits (3.1.4.4). Le dernier scénario (3.1.4.5) illustre l'assistance apportée à une personne externe résidant dans un appartement similaire et rendant visite aux résidents d'un appartement.

3.1.4.1 Un résident et plusieurs activités

Ce scénario met en évidence la gestion des activités pour une personne, la bonne localisation d'une personne et l'inférence du contexte ainsi que l'assistance échéante. Dans cette suite d'activités, René est seul et effectue des gestes de la vie quotidienne. Le scénario, que présente le Tableau 4, montre le suivi d'une personne pendant sa routine matinale et la gestion d'une ou plusieurs sous-activités en simultanées avec un premier conflit simple : la TV est utilisée et elle doit servir pour afficher des informations contextuelles pour l'activité « Téléphone ».

Tableau 4 : Une personne présente, plusieurs activités.

Heure	Actions humaines	Infos des personnes	Activité inférée	Actions du système
7h30	René dort.	René (Chambre, Lit)	Sommeil	
8h00	René se lève et s’habille.	René (Chambre)	Lever	- Eclairage croissant dans la Chambre
8h02	René entre dans la salle de bain et va aux toilettes.	René (SDB, WC)	WC	- Eclairage croissant dans la SDB
8h04	René est devant le lavabo et fait sa toilette.	René (SDB, Lavabo)	Toilette lavabo	- Afficher la météo locale sur l’écran le plus proche de René - Allumer la radio au poste de René
8h15	René sort de la salle de bain et rentre dans la cuisine.	René (Cuisine)	Déjeuner	- Eclairage dans la Cuisine - Déplacer le son de la radio avec René - Éteindre les autres lumières
8h16	René prépare son café.	René (Cuisine)	Déjeuner Café	- Afficher le mode d’emploi pour le café
8h20	René s’assoit dans le fauteuil.	René (Salon, Fauteuil)	Déjeuner TV	- Eclairage dans le Salon - Allumer la TV
10h25	Le téléphone sonne, René se lève et répond (Aïdi vérifie qu’il va bien et discute un peu).	René (Salon)	Déjeuner TV Téléphone	- Afficher les infos de l’appelant - Afficher le calendrier - Baisser le son de la TV
10h31	René raccroche et va ranger sa tasse.	René (Cuisine)	Rangement	
10h32	René se rassoit dans son fauteuil. Il éteint la TV et ouvre le journal.	René (Salon, Fauteuil)	Journal	- Eclairage du Salon pour la lecture

3.1.4.2 Un résident avec plusieurs visiteurs et gestion de la vie privée

Lorsqu’une personne résidant dans un HIS reçoit la visite de plusieurs personnes, le système d’assistance et de personnalisation de l’environnement doit tenir compte de chaque invité et de son influence sur le contexte. Ainsi le système personnalise l’environnement différemment pour le médecin et pour René. Certaines données consultables dans l’HIS sont confidentielles. Lors de la visite du médecin (Mehdi) par

exemple, l’environnement doit permettre l’affichage du dossier médical sur demande car Mehdi et René sont deux personnes autorisées dans ce contexte. L’arrivée d’une troisième personne qui ne dispose pas de cette autorisation dans la même pièce modifie ce contexte. Le dossier médical ne doit plus être visible.

Le scénario de cette section montre René durant la visite du médecin (Mehdi) et de l’aidante (Aïdi) et présente l’assistance profilée de l’environnement ainsi que la personnalisation de l’environnement selon les personnes présentes. Il s’agit d’un exemple de gestion de la vie privée puisque le dossier médical de René est masqué durant la visite d’Aïdi (Tableau 5).

Tableau 5 : Un résident, des visiteurs.

Heure	Actions humaines	Infos des personnes	Activité inférée	Actions du système
11h00	René lit le journal.	René (Salon, Fauteuil)	Lecture	- Eclairage du Salon pour lecture
11h15	Mehdi présente son badge à la porte.	René (Salon, Fauteuil) Mehdi (---)	Lecture Visite	- La sonnerie de l’entrée retentit - Affichage des rendez-vous et de la présence de Mehdi à la porte
11h15	René se lève, ouvre la porte et le fait entrer.	René (Hall d’entrée) Mehdi (Hall d’entrée)	Accueil Visite	- Eclairage du Hall d’entrée
11h16	René propose un café à Mehdi et indique la machine à expresso.	René (Salon) Mehdi (Salon)	Accueil Visite	- Eclairage du Salon pour la visite - Menu interactif sur l’écran du salon qui propose des choix pour le suivi médical de René
11h18	Mehdi prépare un café.	René (Salon) Mehdi (Cuisine)	Accueil Visite, Café	- Mode d’emploi cafetière simple

...

Tableau 5 (suite) : Un résident, des visiteurs.

Heure	Actions humaines	Infos des personnes	Activité inférée	Actions du système
11h20	Mehdi parle dans le salon avec René de son traitement. Mehdi demande l'affichage du dossier médical.	René (Salon) Mehdi (Salon)	Traitement Visite, Café	- Affichage du dossier médical, des observations du système et des symptômes détectés ou signalés
11h45	Sur demande de René, Mehdi téléphone à Ingrid afin de déplacer une visite. Mehdi modifie le calendrier.	René (Salon) Mehdi (Salon)	Traitement Visite Téléphone	- Affichage des numéros courants utilisés et de l'emploi du temps de René - Enregistrement des changements
11h49	Aïdi présente son badge à la porte. René va lui ouvrir.	René (Hall d'entrée) Mehdi (Salon) Aïdi (Hall d'entrée)	Traitement Visite	- La sonnerie de l'entrée retentit - Affichage de la présence d'Aïdi
11h50	Aïdi entre avec les commissions, passe par le salon pour dire bonjour.	René (Salon) Mehdi (Salon) Aïdi (Salon)	Traitement Visite	- Masquage du dossier médical
11h55	Aïdi va ranger les commissions dans la cuisine. Mehdi prend congé et sort.	René (Salon) Mehdi (Hall d'entrée) Aïdi (Cuisine)	Traitement Visite Rangement	- Mise à jour de l'inventaire
12h05	Aïdi met de l'ordre dans le salon.	René (Salon) Aïdi (Salon)	Visite Rangement	- Eclairage fort
12h15	Aïdi s'en va.	René (Salon) Aïdi (Hall d'entrée)	Visite	- Affichage de l'emploi du temps de René
12h16	René reprend son journal.	René (Salon, Fauteuil)	Journal	- Eclairage Salon pour lecture

3.1.4.3 Entrée d'un résident, visite de l'infirmière et personnalisation

L'entrée d'un résident dans l'HIS est une étape importante pour le bien-être du résident. Lors de son entrée, René doit se sentir chez lui. Selon les personnes, cela pourra correspondre à un accueil vocal, lumineux ou même à une absence de réaction. Le scénario de cette section présente les interactions entre un résident et une infirmière et la gestion de l'emploi du temps et des tâches du résident (Tableau 6). Il met en évidence la réaction du système face à des changements d'actions et de lieux rapides.

Tableau 6 : Un résident, une infirmière, gestion de l'emploi du temps.

Heure	Actions humaines	Infos des personnes	Activité inférée	Actions du système
15h59	René est absent.			
16h00	René entre dans l'appartement.	René (Hall d'entrée)	Arrivée	- Éclairage du Hall d'entrée - Message de bienvenue ☺
16h02	René dépose une pizza surgelée dans le congélateur.	René (Cuisine)	Rangement	- Éclairage de la cuisine - Écran rappelle les RDV
16h04	René va dans la salle de bain, utilise les toilettes et se lave les mains.	René (SDB, WC puis lavabo)	WC Toilette	- Éclairage de la SDB - Ventilation de la SDB
16h10	René se prépare un thé.	René (Cuisine)	Thé	- Mode d'emploi (Initial) - Suggestion de thé disponible
16h12.	René s'assoit dans son fauteuil et allume la TV.	René (Salon, Fauteuil)	TV	- Éclairage faible
17h08	Le téléphone sonne, René se lève et répond. Ingrid prévient qu'elle sera en retard ce soir. Ingrid déplace le RDV	René (Salon)	TV Téléphone	- Le son de la TV se coupe - Affichage des RDV avec modification
17h12	René raccroche, se rassoit.	René (Salon, Fauteuil)	TV	- Le son de la TV revient - L'emploi du temps se ferme
18h15	Ingrid présente son badge à la porte. René se lève, ouvre la porte et la fait rentrer.	René (Hall d'entrée) Ingrid (Hall d'entrée)	TV / Visite	- Le son de la TV diminue - La sonnerie de l'entrée retentit - Affichage des RDV
18h20.	Ingrid entre dans le salon, sélectionne les exercices prescrits par Mehdi et guide René dans leur exécution. Ingrid note les performances et les progrès de René.	René (Salon) Ingrid (Salon)	Exercices Visite Aide	- Affichage d'un menu contextuel pour Ingrid - Affichage des exercices à faire et de la grille d'évaluation pour Ingrid - Éclairage de visite
18h35	René va aux toilettes.	René (SDB) Ingrid (Salon)	WC Visite Consultation	- Affichage des détails pertinents pour Ingrid : évolution des symptômes
19h00	Ingrid prend congé et sort de l'appartement.	René (Salon) Ingrid (Hall d'entrée)	Visite	- La TV se remet sur le programme précédent
19h02	René va prendre une douche.	René (SDB, douche)	Douche	- Ventilation automatique

3.1.4.4 Cohabitation de deux résidents et gestion de conflits

Dans un HIS, on peut trouver plusieurs résidents. Les précédents scénarios ont mis en évidence la gestion d’un résident et de plusieurs visiteurs. Il faut aussi considérer la possibilité d’avoir deux résidents (un couple par exemple) qui cohabitent dans l’HIS. On souhaite également mettre en évidence la possibilité de multiplier les rappels de prise de médicaments jusqu’à ce que cette prise soit effective.

Le scénario de cette section présente les interactions entre deux résidents (Tableau 7). Le couple formé par Jeanne et René dîne et commence une activité commune (Visionnement d’un DVD). René se lasse et ouvre un livre. Le système doit déterminer une solution acceptable sinon idéale pour permettre aux deux résidents de même priorité de mener à bien leur activité respective sans être gêné par l’activité de l’autre (la lumière forte pour la lecture qui dérange le visionnement d’un film, ou le son de la TV trop fort pendant le sommeil de l’autre personne).

Tableau 7 : Deux résidents, des conflits.

Heure	Actions humaines	Infos des personnes	Activité inférée	Actions du système
19h25	René choisit « Pizza » sur l’écran, met une pizza au four.	René (Cuisine)	Préparation repas (pizza)	- Éclairage de la Cuisine - Affichage de recettes
19h30	Jeanne arrive.	René (Cuisine) Jeanne (Hall d’entrée)	Préparation repas (pizza) Arrivée	- Éclairage du Hall d’entrée - Message de bienvenue ☺
19h45	René va retirer la pizza du four. Jeanne met la table.	René (Cuisine) Jeanne (SAM)	Préparation repas (pizza)	- Éclairage de la SAM - Affichage des ajouts possibles sur la pizza.
19h47	René et Jeanne mangent.	René (SAM) Jeanne (SAM)	Repas	- Éclairage de la SAM pour le repas
20h15	René et Jeanne débarrassent la table.	René (SAM puis Cuisine) Jeanne (SAM)	Rangement Repas	- Affichage d’un rappel pour les médicaments à la cuisine.
20h20	Jeanne met le DVD qu’elle a ramené dans le lecteur.	René (Salon) Jeanne (Salon)	Médicament Visionnement	- Affichage d’un rappel pour les médicaments au salon.
20h21	René va prendre ses médicaments.	René (Cuisine) Jeanne (Salon)	Médicament Visionnement	- Éclairage pour le confort du visionnement

Tableau 7 (suite) : Deux résidents, des conflits.

Heure	Actions humaines	Infos des personnes	Activité inférée	Actions du système
20h22	René vient s’installer au salon, et Jeanne lance la lecture du DVD	René (Salon) Jeanne (Salon)	Visionnement	- Le rappel disparaît.
21h00	René se lève, cherche un livre et va s’asseoir dans son fauteuil	René (Salon) Jeanne (Salon)	Lecture Visionnement	- Éclairage fort localement pour René. Les autres lampes restent éteintes
22h00	René va se brosser les dents.	René (SDB, lavabo) Jeanne (Salon)	Toilette Visionnement	- Affiche la météo du lendemain pour René sur l’écran le plus proche
22h15	René se couche.	René (Chambre) Jeanne (Salon)	Sommeil Visionnage	- Surveillance du sommeil de René - Propose à Jeanne de baisser le son pour ne pas déranger René
23h00	Jeanne va se brosser les dents	René (Chambre) Jeanne (SDB, lavabo)	Sommeil Toilette	- Éteint l’éclairage au salon - Affiche la météo du lendemain pour Jeanne sur l’écran le plus proche
23h05	Jeanne se couche	René (Chambre) Jeanne (Chambre)	Sommeil	- Surveillance des sommeils - Réveille-matin adapté si besoin selon le calendrier.

3.1.4.5 Changement d’espace pour un résident

Les HIS sont destinés à permettre à des personnes en perte d’autonomie de vivre normalement et pourraient être mis en place dans des zones d’habitation traditionnelles, où les résidents auront comme voisins des personnes non assistées. Toutefois certains projets (résidences alternatives) prévoient de placer plusieurs appartements intelligents dans une même bâtisse, afin d’y proposer d’autres services, comme une infirmerie ou des techniciens de surface pour le ménage et l’entretien. Dans un tel bâtiment, des visites entre résidents seraient encouragées pour lutter contre l’esseulement et la monotonie.

Lorsqu’un voisin d’appartement – Victor, disposant lui aussi d’un système d’assistance similaire à domicile – rend visite à René dans son HIS, le système doit

pouvoir personnaliser l’environnement et assister cette personne au mieux selon ses besoins et les médias d’interactions présents sans toutefois mettre en péril la personnalisation de l’environnement et l’assistance du résident habituel. Pour ce faire, l’HIS doit gérer les conflits entre personnes en gardant une priorité pour les résidents permanents si besoin est. Le scénario de cette section (Tableau 8) décrit le changement d’espace intelligent et un exemple de conflit de personnalisation. L’état initial projette Victor dans son appartement lisant un livre dans la fraîcheur relative qu’il préfère. Dans son propre appartement, René prépare un repas et téléphone à Victor pour l’inviter à souper. Victor accepte et raccroche. L’appartement intelligent de René doit pouvoir laisser la place à l’assistance de Victor sans mettre en péril celle de René. René doit être considéré comme prioritaire s’il n’y a pas d’urgence.

Tableau 8 : Changement d’espace et personnalisation externe conflictuelle.

Heure	Actions humaines	Infos des personnes	Activité inférée	Actions du système
19h25	Victor est dans son domicile et raccroche le téléphone	Victor (Salon)	Lecture Téléphone	- Éclairage du salon - Chauffage au minimum
19h30	Victor pose son livre et sort de son appartement pour se rendre chez René.	Victor (Hall d’entrée)	Départ	- Éclairage du Hall d’entrée
19h31	Victor est sorti	---	---	- Sauvegarde du profil de Victor et transfert sur le terminal mobile de Victor
19h40	Victor sonne à la porte de l’appartement de René	René (Cuisine)	Préparation du repas	- Affichage des possibilité de visite sur les écrans disponibles
19h41	René fait entrer Victor	René (Hall d’entrée) Victor (Hall d’entrée)	Accueil	- Le profil d’assistance de Victor et son système d’assistance personnalisé demandent l’accès dans le système.
19h42	René et Victor se déplacent dans le salon et discutent	René (Salon) Victor (Salon)	Discussion	- Le système veut assister Victor en baissant la température, mais René est frileux. Le profil de René prend le dessus.
20h30	René et Victor regardent les informations à la TV	René (Salon) Victor (Salon)	TV	- Le système veut rappeler à Victor de prendre ses médicaments, mais la TV est occupée par René. Le besoin médical prend le dessus et un rappel est affiché en surimpression.

3.2 Méthodologie et choix de mise en œuvre

Cette section présente la méthodologie de recherche utilisée pendant l'implémentation de la preuve de concept et les choix de mise en œuvre pour les différents modules avec le raisonnement impliqué. Les modules de détection humaine (localisation et identification) sont ainsi décrits en section 3.2.1, puis ceux de personnalisation et d'assistance (3.2.2). Les choix en matière de langage et d'organisation structurelle et fonctionnelle du système sont présentés en 3.2.3, pour terminer par une discussion des limites acceptables selon les choix effectués et les impératifs matériels (3.2.4).

3.2.1 Détection humaine

Afin de pouvoir réaliser une preuve de concept intéressante en assistance et personnalisation de l'environnement, une base de détection humaine doit être mise en place. Cela permet d'établir la couche de localisation et d'identification des personnes qui sera un support pour les services de plus haut niveau requis par la suite.

Le laboratoire DOMUS possède un grand nombre de capteurs anonymes (capteurs de présence infrarouges, tapis tactiles au sol et sous le lit, contacts de portes, de tiroirs et de placards, débitmètres, interrupteurs et déclenchement de luminaires). Il y existe également des capteurs identifiants (Ultra Wide Band, RFID, Caméra vidéo) mais un des premiers choix de recherche pour ce travail de doctorat est de n'utiliser si possible que des capteurs non intrusifs, c'est-à-dire des capteurs qui ne pénètrent pas dans la zone de confort habituelle des personnes assistées. Ces personnes peuvent avoir des objections conscientes (ne pas vouloir être filmées) ou inconscientes (oublier de porter le capteur localisateur) face à l'utilisation de ces capteurs. La présence potentielle de personnes de l'extérieur qu'il serait fastidieux d'équiper de capteurs

portés à chaque visite renforce l'intérêt de ce choix. D'autre part, un postulat complémentaire affirme que si le système peut fonctionner avec des capteurs anonymes, il ne fonctionnera que mieux avec d'autres informations plus précises. Il est avantageux de présumer d'un fonctionnement sans ces informations de localisation supplémentaires afin de pouvoir garantir un suivi permanent et indépendant des préférences ou des oublis des résidents.

Les capteurs utilisés sont donc des capteurs anonymes, c'est-à-dire qui ne fournissent pas d'informations brutes d'identification sur la personne qui est la source de leur déclenchement. Les données perçues sont ainsi les identifiants des capteurs et leur état (binaire pour la plupart, par intervalles pour certains comme les débitmètres) à chaque perturbation de l'environnement. La méthode choisie est de transmettre chaque déclenchement de capteur au processus de suivi de chaque personne. Chacun de ces processus devra alors décider si l'information lui est associée ou pertinente.

Le fonctionnement du laboratoire repose sur un serveur d'événements qui rassemble les données électroniques des capteurs et les diffuse aux processus à l'écoute. Un système complémentaire doit être mis en place pour associer à chaque identifiant de capteur les informations de localisation nécessaires au traitement de la donnée. En effet, on ne traitera pas de la même manière une donnée de capteur de présence englobant une pièce entière ou le déclenchement d'un interrupteur. Les capteurs doivent donc être réglés individuellement pour leur associer une localisation dans l'espace, une aire de couverture dans laquelle une personne doit être pour les déclencher, la fonction de probabilité utilisée pour le processus de localisation et un descriptif du capteur à des fins de traitement humain (voir Annexe 1 : Un logiciel pour la configuration des capteurs).

Les processus de localisation peuvent se tromper sur l'appartenance d'un événement (est-ce René ou Jeanne qui a déclenché le capteur de présence du salon) lorsque deux personnes sont proches l'une de l'autre. Ces erreurs ne sont pas réellement évitables puisque les prédire impliquerait de fixer une logique obligatoire (par exemple:

c'est toujours René dans le salon) dans la réflexion des processus. Cela engendrerait un manque de dynamisme face aux comportements des personnes dans l'appartement. Par exemple, lorsque René et Mehdi sont dans le salon, on ne peut prédire à tous les coups qui des deux se déplacera vers la cuisine. La logique voudrait que Mehdi en sa qualité d'invité reste dans le salon, mais il ne faut pas présumer de ce comportement de manière définitive.

Les méthodes d'identification sont alors des services de niveau supérieur, inférant les identités des personnes à partir des données perçues et choisies par les processus de localisation. Certaines déductions peuvent être incertaines : elles provoquent alors un degré de flou sur l'identité des personnes. Dans le cas proposé en exemple ci-dessus, un flou donnerait la préférence à la présence de Mehdi dans le salon, tout en s'ajustant si cela s'avère erroné, sur précision de l'un des deux à l'assistance induite. René peut alors signaler sa présence et demander de l'assistance dans le salon. Les processus d'identification s'ajustent ainsi en fonction de la nouvelle information pour fournir aux processus de personnalisation et d'assistance les informations les plus pertinentes et justes possibles.

3.2.2 Personnalisation et assistance

Personnaliser un environnement pour une personne revient dans ce travail à s'assurer que toutes les conditions sont requises dans l'environnement physique pour que la personne puisse mener à bien son activité. Si une personne souhaite lire dans le salon, le système s'efforce par exemple de lui garantir la meilleure luminosité possible en fonction du contexte (les lampes disponibles, les personnes présentes et leurs activités respectives). Cette personnalisation de l'environnement repose donc sur les informations de profils concernant les préférences et les habitudes de la personne (lire dans ce fauteuil l'après-midi, en écoutant la radio) et sur les dispositifs actuateurs

disponibles dans l'appartement (lampes d'appoint, plafonniers à puissance réglable, hauts-parleurs localisés ou globaux).

Des personnalisations multiples dans l'environnement suivent ces principes tant que les actions du système ne vont pas à l'encontre du bien-être d'une autre personne présente dans l'habitat, ou d'une règle de l'environnement. Les conflits seront réglés par des comparaisons de préférences et de priorités entre les personnes ou entre les personnes et l'environnement. Certains cas de conflits peuvent induire des gestions particulières, par exemple le son de la TV très fort que l'on baisserait lors d'une visite ou après 23h. L'algorithme de traitement décidera de sortir du cas normal de l'assistance à une personne pour répondre à une perspective plus globale que la seule personne : par exemple la nécessité de pouvoir communiquer avec le visiteur ou le respect des lois sur le tapage nocturne.

Lorsque des problèmes sont potentiels pour une personne et pour une activité, le système doit, en plus de la personnalisation, offrir une aide contextuelle. Pour des déficits d'initiation d'activité ou de mémoire, cette aide peut se présenter sous la forme de témoins lumineux ou de lampes clignotantes pour attirer l'attention de la personne sur un endroit précis. En cas de problèmes de planification, une assistance adéquate pourra être proposée, par exemple sur un écran tactile proche, au niveau d'aide mentionné dans le profil.

L'assistance à de multiples personnes en parallèle s'effectue de la même manière que la personnalisation, en respectant les priorités et les préférences des autres personnes. Si Jeanne et René devaient être assistés au même moment, au même endroit, pour des tâches différentes et qu'il n'y ait qu'un seul médium d'interaction disponible, la priorité ira à la tâche requérant le plus haut niveau d'assistance et/ou à la personne la plus dépendante.

Des tests permettent, en suivant les scénarios prévus dans la section 3.1.4, de s'assurer du bon fonctionnement et de l'adéquation du système aux objectifs prévus. Les tests et résultats qui en découlent sont décrits et discutés dans le Chapitre 5.

3.2.3 Outils choisis et organisation

Le choix d'un système multi-agents a été fait pour simplifier la répartition des données, des choix et des traitements et pour proposer une solution conceptuellement proche de la réalité perçue. Un *framework* agent JADE a été choisi puisqu'il représentait au début du projet la solution la plus rentable pour ce système. Ce choix s'est avéré mitigé par la suite.

JADE (Java Agent DEvelopment framework) est implémenté entièrement en langage Java. Il propose des outils de communication respectant les spécifications FIPA et des outils graphiques facilitant le développement, le déploiement et le déverminage. JADE permet également de déployer les agents sur différentes machines sans se soucier du système d'exploitation. C'est également une des raisons du choix du langage Java pour programmer notre preuve de concept. Les avantages principaux de l'utilisation de JADE sont de ne pas avoir à implémenter tous les mécanismes de communication, de déploiement et d'ordonnancement des comportements d'agents. Toutefois ce *framework* propose beaucoup de fonctionnalités non nécessaires dans le cadre de ce travail, et qui alourdissent le fonctionnement global du système.

Une organisation permet de mieux structurer le système multi-agent. Une spécification organisationnelle⁴ a été mise en place et elle est utilisée pour définir la structure des rôles du système, les missions et les buts, les interactions entre agents, les associations de rôles et de missions, et le déploiement des agents dans le système. Cette

⁴ En collaboration avec Olivier Boissier, Jomi Hübner et Rosine Kitio de de l'École des Mines de Saint-Étienne (EMSE), au LSTI dans l'équipe ISCOD.

organisation garantit un fonctionnement initial adéquat et un suivi du système et de ses composantes.

Une modification de cette organisation permet également d'étendre la problématique de recherche à une perspective plus large, ajoutant à la gestion de plusieurs personnes dans un espace, la gestion de plusieurs personnes dans plusieurs habitats. Cela définit qui plus est des possibilités de contrôle et de sécurité pour l'acceptation d'agents externes au système mais similaire en fonctionnalités.

3.2.4 Limites de conception

Les possibilités du système décrit sont très nombreuses mais certaines (localisation de plus de trois personnes, identification plus précise) ne sont pas démontrables. En effet, même si le système peut en théorie faire la gestion d'un nombre de personnes limité seulement par la puissance de calcul, la granularité des capteurs influence de manière importante la capacité de détection de multiples personnes. Si une douzaine de capteurs à faible aire de couverture sont disponibles dans une pièce, le système pourra y localiser plusieurs personnes en simultanée. En revanche si seulement trois capteurs y sont disponibles, le seul moyen de pouvoir détecter les multiples présences est que chaque personne déclenche un capteur particulier. Les croisements de personnes sont encore une étape plus complexe à détecter. En effet l'incertitude de localisation et d'identification des personnes est augmentée de l'incertitude de leur déplacement et de leur direction.

D'autre part, le choix de se restreindre aux catégories de capteurs les moins intrusifs possibles oblige à inférer des comportements ou des présences qui pourraient être confirmés aisément et avec un grand degré de certitude avec une caméra vidéo ou un module localisant porté par la personne. Les calculs et les incertitudes résultants de la localisation et l'identification lors de conflit forment une base très solide en cas

d'erreur du système, mais ralentissent et limitent les possibilités d'assistance et de personnalisation de l'environnement.

Le choix d'algorithme de localisation est tout à fait approprié pour des capteurs anonymes, mais la multiplication des personnes détectées multiplie également le nombre de filtres à particules bayésiens utilisés. Cela peut rendre les processus de localisation lourds et gourmands en ressources calculatoires, ainsi qu'en ressources de communication pour la synchronisation des agents.

Enfin, le laboratoire DOMUS propose un appartement intelligent équipé. Pour pouvoir tester toutes les fonctionnalités et appliquer tous les scénarios au plus proche de la réalité, l'accès à deux appartements aurait été pratique (pour le scénario 3.1.4.5 notamment). Des solutions alternatives sont employées (simulation du changement d'appartement, rechargement de la configuration pour changer l'« apparence » de l'habitat) pour tester ces fonctionnalités, mais des tests dans des ensembles d'habitats intelligents seraient plus pertinents.

3.3 Conclusion

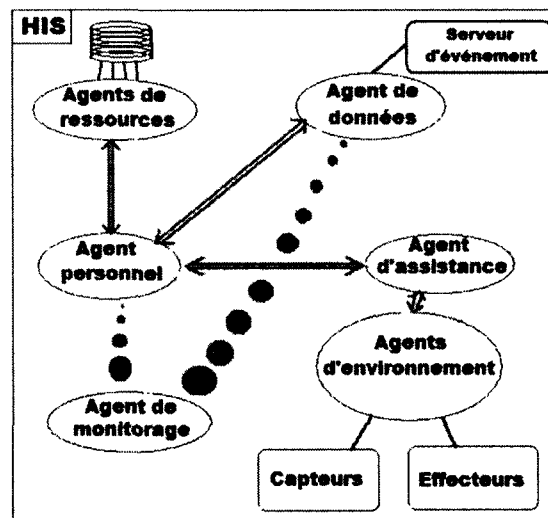
Ce chapitre a décrit les lieux d'expérimentation, les personnes et les activités présentes dans des scénarios de vie quotidienne, ainsi que les choix de méthodologie et les limites anticipées du système conçu. Les scénarios, non exhaustifs, souhaitent apporter une « *storyline* » utile pour expliquer les choix effectués, comparer les possibilités disponibles, établir les fonctionnalités. Ils ont été un élément central du développement de notre solution, apportant avec les cas particuliers qu'ils contiennent les pistes de solutions à suivre. Dans le reste de ce document, les scénarios seront référencés pour établir des parallèles entre les détails d'implémentation et les comportements prévus initialement.

Les principaux choix de recherche ont été présentés pour mettre en valeur les points saillants de l'implémentation et garantir un fonctionnement adéquat calqué sur la modélisation. Des bases sont posées pour la détection humaine (localisation et identification). Elles utilisent des échanges de messages et de la résolution de conflits dynamique et statique pour maximiser les détections et minimiser les flous et les incertitudes. Des services d'assistance et de personnalisation de l'environnement sont construits sur ces fondations. Ils ont pour but de maintenir, par des résolutions de conflits de plus haut niveau, la bonne répartition et utilisation des ressources physiques de communication. Cette répartition est établie en fonction des priorités, préférences et habitudes des différentes personnes tout en respectant les règles civiques de l'habitat intelligent. Le système est implémenté en Java en utilisant un *framework* agent JADE et en suivant une spécification organisationnelle conçue avec les scénarios en ligne de mire.

Les limites anticipées du système sont acceptables puisqu'elles permettent quand même de proposer une preuve de concept fonctionnelle et qui répond aux besoins exprimés. Le Chapitre 4 propose la description détaillée de l'implémentation permettant de tester les scénarios présentés.

Chapitre 4 – Architecture: ICEMAS

Ce chapitre présente l'architecture de la solution proposée dans ce doctorat, c'est-à-dire un système multi-agents permettant d'assister et de personnaliser l'environnement pour plusieurs personnes dans un HIS. Cette solution est nommée ICEMAS pour *Intelligence and Communications in the Environment with a MultiAgent System*. La section 4.1 décrit l'implémentation des processus de détection humaine, comprenant la localisation et l'identification des personnes. La gestion matérielle des profils, de la personnalisation et de l'assistance éventuelle est exposée dans la section 4.2, détaillant les techniques de transparence, les conflits et la répartition distribuée des jugements. La section 4.3 décrit l'organisation conçue pour structurer le système multi-agents ainsi que les modifications conceptuelles permettant de gérer de multiples espaces. Enfin, les agents développés sont étudiés (4.4) et leur fonctionnement expliqué avant de proposer une brève conclusion sur l'adéquation de ces implémentations (4.5).



4.1 Détection humaine

Pour apporter des services de personnalisation et d'assistance dans un HIS, le système ICEMAS utilise plusieurs types d'informations sur le contexte de l'environnement. Parmi ces informations, certaines sont indispensables et d'autres sont utiles mais facultatives. Le système doit être en mesure d'accéder à ces informations au besoin. Pour offrir la personnalisation de l'environnement et plus précisément une assistance contextuelle, ICEMAS nécessite la connaissance de la localisation de toutes les personnes qui évoluent dans l'appartement. Ces personnes doivent être identifiées dans certains cas afin de différencier la réaction du système et de l'adapter à chaque personne. Cette section décrit l'implémentation des processus qui permettent la détection de multiples personnes dans l'appartement intelligent. Les premières sous-sections se concentrent sur les processus et algorithmes de localisation. On y trouvera les principes et techniques de localisation utilisés pour une personne (4.1.1) puis leur adaptation pour plusieurs personnes simultanément présentes (4.1.2) avant de décrire les conflits de détection et leurs résolutions possibles (4.1.3). L'identification des personnes est ensuite abordée dans la section 4.1.4, exprimant les besoins, les méthodes et les conflits subséquents. Une conclusion (4.1.5) fait la synthèse de ces réalisations de bas niveau.

4.1.1 La localisation d'une personne

La technique des filtres de particules (chaque particule étant une position possible de l'occupant) est utilisée pour implémenter la solution de localisation mono-personne, selon les travaux de Youcef Rahal [Rahal et al., 2007] aboutissant au système « Dynamo » utilisé dans le laboratoire DOMUS. Cette approche semble être la plus intéressante dans le cas de la localisation avec plusieurs types de capteurs utilisés

(présence, pression, portes ...). L'algorithme principal utilisé est un filtre bayésien décrivant le degré de vérité d'une proposition de localisation.

Cette proposition est le fait que l'occupant de l'habitat intelligent se trouve à la position x à l'instant t , que nous notons $Bel(x_t)$ (« Belief to be in x at the time t »). Les filtres à particules permettent de modéliser $Bel(x_t)$. Des modèles de perception ont été choisis pour chacun des capteurs utilisés (probabilité $p(o_t | x_t)$ d'avoir une observation du capteur au temps t sachant que la position de la personne est x_t , c'est-à-dire la fiabilité du capteur) ainsi qu'un modèle dynamique pour décrire le déplacement de la personne suivie (probabilité $p(x_t | x_{t-1})$ de la position de la personne en connaissant sa position précédente et l'intervalle de temps).

En considérant que α est une constante de normalisation de la croyance pour faciliter les calculs dans les filtres, on peut exprimer $Bel(x_t)$ par l'expression (1) suivante :

$$Bel(x_t) = \alpha \cdot p(O_t | x_t) \cdot \sum_x \left[p(x_t | x_{t-1}) \cdot Bel(x_{t-1}) \right] \quad (1)$$

Les modèles de perception possibles dans l'appartement sont ceux des détecteurs de présence (coniques), des tapis tactiles (rectangulaires) et des capteurs de portes, tiroirs, fenêtres et autres (ponctuels). Ces modèles ont une grande importance car ils définissent la granularité de l'environnement et donc la précision de la détection de mouvements. Par exemple, le détecteur de mouvement de l'entrée est modélisé comme ne détectant que les présences à l'intérieur de l'espace défini "Hall d'entrée". En réalité, l'espace physique d'entrée est ouvert sur la chambre lorsque la porte de celle-ci est ouverte. Il est ainsi possible que le capteur de présence de l'entrée se déclenche alors que la personne détectée est dans la chambre. Ce déclenchement fausse ainsi le filtre à particules puisque l'événement prend comme épicycle le centre du hall d'entrée. La personne est alors localisée dans l'entrée alors qu'elle se trouve dans la chambre. Pour

pouvoir modéliser correctement ce phénomène, il faudrait un apprentissage centré sur ce capteur et la possibilité d'ignorer l'événement. La solution choisie a été de placer un cache physique sur le détecteur pour l'empêcher de percevoir l'angle critique donnant sur la chambre. Cette altération de la perception du capteur modifie en théorie la surface couverte et donc son modèle de perception. Les tests effectués démontrent toutefois l'aspect négligeable de ce changement étant donné la taille de la pièce.

Le modèle dynamique décrivant le déplacement de la personne est une courbe gaussienne large, puisqu'au moment de la création de « Dynamo », seuls les détecteurs de mouvements étaient en place. Après de nombreux essais, il s'est avéré que cette fonction reste la plus appropriée car les détecteurs de présence sont les capteurs qui ont le plus de chance d'être déclenchés en utilisation normale (c'est-à-dire sans déplacement au ralenti ...). Par exemple, les tapis tactiles peuvent être "évités". Cela pose un problème puisqu'ils donneraient une information plus précise. Toutefois le fait qu'un détecteur de présence soit activé et non les tapis tactiles enlève des zones potentielles (celles couvertes par le tapis) dans lesquelles pourrait se trouver la personne suivie. La Figure 3 montre la cohabitation du détecteur de présence du salon avec les tapis tactiles. On notera particulièrement les tapis TC004 et TC003 dans le salon et les tapis TC015 et TC012 dans la cuisine qui seront pris en exemple dans la suite.

La localisation se fait donc en agrégeant plusieurs sources de données puisque des capteurs peuvent apporter une redondance d'informations. Le tapis tactile TC004 déclenché au salon précise l'information globale de détection de présence dans le salon en réduisant l'espace où peut se trouver la personne. À l'inverse, le déclenchement du capteur de présence du salon immédiatement après celui du tapis tactile TC004 n'apporte pas d'informations supplémentaires pour la localisation précise d'une personne.

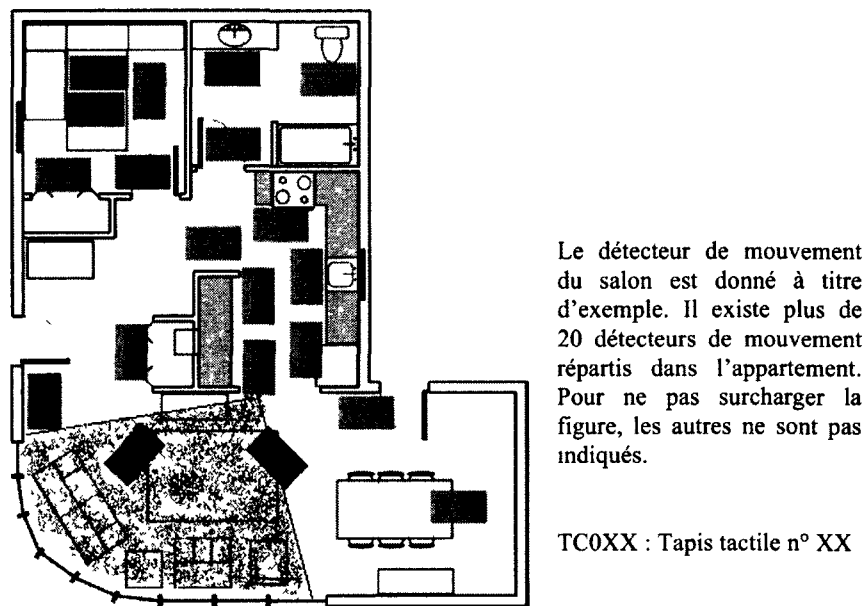


Figure 3 : Tapis tactiles et détecteur de mouvement du salon

L'amélioration du système par une mémoire d'événements qui concentre plusieurs informations pour garder la plus précise (garder l'indication du tapis tactile tant qu'il est actif sans retourner au niveau plus vague si un détecteur de présence se déclenche) nous permettrait par la suite de monter un modèle probabiliste des actions faisables par une personne dans une certaine situation, par exemple les placards qu'elle peut atteindre et est susceptible d'ouvrir en ayant toujours au moins un pied sur un tapis tactile.

4.1.2 La localisation multi-personnes

La localisation multi-personnes est inspirée des algorithmes de « Dynamo » [Rahal et al., 2007] quelque peu modifiés. « Dynamo » utilise une localisation déterminée par la concentration locale d'un filtre à particules étendu sur tout l'appartement. L'approche par filtre de particules reste encore la plus appropriée dans le cas de multiples personnes étant données sa simplicité et son efficacité pour la localisation par des capteurs anonymes dans un espace clos. Avec quelques ajouts

conceptuels (cercle de circonstance, vitesse de déplacement de la personne suivie...) décrits plus loin dans ce document, ce filtre est implémenté par un agent personnel dédié à chaque personne de manière beaucoup plus locale, à échelle de déplacement humain, afin de détecter la présence et le déplacement potentiel et cohérent de la personne suivie.

Le système conçu détecte et suit une personne seule dans l'appartement de la même manière que le système de détection originel « Dynamo » : un agent personnel calcule au moyen d'un filtre à particules la localisation de la personne selon les événements de capteurs déclenchés. Pour le suivi de plusieurs personnes simultanément, un agent personnel par personne joue ce même rôle, suivant à la trace les perturbations de sa personne dans l'environnement. Le nombre de personnes détectables dans l'habitat dépend entièrement de la granularité des capteurs de l'environnement, de leur fiabilité et de l'espace général sur lequel s'effectue la détection. En effet, plus l'environnement réel est grand et plus la notion de vitesse de déplacement est utilisable et fiable pour la détermination de la source de l'événement (qui a provoqué le déclenchement du capteur) et la gestion de conflits induite (voir 4.1.3). Dans une zone de taille restreinte, la différenciation d'appartenance d'un événement entre deux agents (donc deux personnes suivies) se révèle délicate et demande une granularité de capteurs plus fine (plus grande densité de capteurs).

À chaque détection d'événement, les agents personnels doivent se concerter pour déterminer lequel d'entre eux doit le traiter. Pour ce faire, on utilise le concept de cercle de circonstance, un cercle définissant l'aire possible de déplacement d'une personne en fonction de sa dernière position connue (centre du cercle) et de la distance qu'elle a pu parcourir depuis (diamètre du cercle). Les données provenant de l'appartement sont très nombreuses, et chaque agent personnel peut devoir traiter plus de dix événements en moins d'une seconde pour assurer une localisation en temps réel. Les conflits principaux relèvent alors de la synchronisation de traitement des événements entrants. Cette synchronisation peut être davantage ralentie en considérant la répartition physique

des agents sur plusieurs puissances de calculs différentes. Il faut alors considérer les délais de transmission et les délais d'abandon (*time out*) des différents protocoles réseaux.

Il avait été envisagé de laisser les agents traiter indépendamment les événements afin d'accélérer le temps de traitement, en utilisant la localisation déclarée des autres agents et leur distance par rapport à l'événement pour pondérer l'algorithme de décision. Cette solution a été abandonnée car les agents, ignorant certains événements, traitaient ensuite des événements ultérieurs dont l'influence n'avait pas encore touché tous les agents de localisation. Prenons en exemple, pour clarifier le problème, la présence d'une personne dans la cuisine, suivie par l'agent personnel X, et la présence simultanée au salon d'une personne suivie par l'agent personnel Y (voir les cercles de circonstances de X et Y sur la Figure 4). La personne représentée par X ne bouge pas de sa position. La personne suivie par Y va se déplacer de la gauche du salon vers la droite et va pénétrer dans la cuisine. Selon les localisations spatiales des tapis tactiles identifiés par les mentions TC0ii où ii est un nombre entre 0 et 20 dans la Figure 4, les agents de localisation reçoivent séquentiellement et de manière anonyme les événements déclenchés physiquement par la personne suivie par Y : TC012 (évier cuisine), TC004 (salon gauche), TC003 (salon droite) puis TC015 (micro-onde, cuisine bas). On suppose que les temps de traitements sont similaires pour chaque événement.

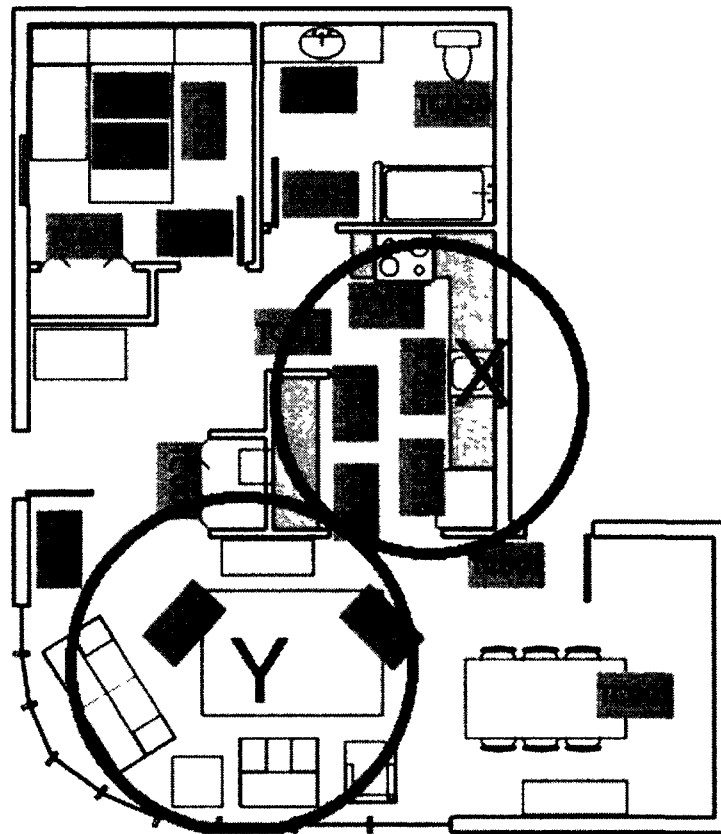


Figure 4 : Localisation et suivi de deux personnes.

La résultante de ces traitements sans synchronisation dans le Tableau 9 montre que X est toujours dans la cuisine, et Y dans le salon. Ce résultat est erroné du fait que X a traité un événement avant qu'Y n'ait eu le temps de mettre à jour sa nouvelle localisation. Une synchronisation des traitements, bien que coûteuse, est donc nécessaire pour un suivi adéquat des personnes dans l'habitat. Le Tableau 10 propose la résultante des traitements avec une synchronisation entre agents.

Tableau 9 Traitement des événements sans synchronisation

Temps	Localisation des agents	Agent X	Agent Y
T	X est plus proche de TC012 Y est plus proche de TC004	X ignore TC012 X ignore TC004	Y ignore TC012 Y ignore TC004
A la fin du temps T, X est en position TC012 et Y en position TC004			
T+1	Y est plus proche de TC003 X est plus proche de TC015	X ignore TC003 X ignore TC015	Y ignore TC003 Y ignore TC015
A la fin du temps T+1, X est en position TC015 et Y en position TC003			

Tableau 10 Traitement des événements avec synchronisation

Temps	Localisation des agents	Agent X	Agent Y
T	X est plus proche de TC012	X ignore TC012	Y ignore TC012
T+1	Y est plus proche de TC004	X ignore TC004	Y ignore TC004
A la fin du temps T+1, X est en position TC012 et Y en position TC004			
T+2	Y est plus proche de TC003	X ignore TC003	Y ignore TC003
A la fin du temps T+2, X est en position TC012 et Y en position TC003			
T+3	Y est plus proche de TC015	X ignore TC015	Y ignore TC015
A la fin du temps T+3, X est en position TC012 et Y en position TC015			

Hormis cette synchronisation nécessaire au bon fonctionnement global du système, chaque agent personnel fonctionne indépendamment des autres et peut être déployé sur une machine appropriée ou migré au cours de son cycle de vie. Ils

communiquent en permanence entre eux avec des messages de description. Une interface graphique a pu être développée pour permettre de visualiser la localisation mais, en tant qu'agent du système (agent de monitoring), elle n'est pas nécessaire à son fonctionnement. Dans cette même interface les agents de localisation du système sont énumérés (ils s'enregistrent dès leur création) afin de faciliter leur comptage, leur affichage et celui de leurs caractéristiques éventuelles comme l'identification qui peut leur être associée.

Ce système de localisation peut donc fournir une bonne idée du nombre de personnes dans l'appartement et, grâce à leur situation spatiale, il peut faciliter l'inférence de leurs activités probables. Cela permet également de renseigner tous les autres processus et ainsi d'affiner les réponses de l'appartement.

4.1.3 Les conflits de localisation

Cette section présente différents concepts de gestion de conflits utilisés dans l'implémentation d'ICEMAS pour la localisation de multiples personnes dans un HIS. On propose d'abord le concept de surface des possibles, puis le concept de paradoxe, suivi de l'autosuppression d'un agent pour terminer en définissant la notion d'ambiguïté.

Surface des possibles

La surface des possibles est définie comme étant la surface dans laquelle la personne suivie a pu se déplacer depuis le dernier événement. Un modèle est appliqué à chaque type de capteur. En effet, entre un tapis tactile qui offre deux types d'événements (*on*, *off*) et un détecteur de présence qui n'en signale qu'un seul (*change*), la conclusion n'est pas la même quant à la possibilité de déplacement. Par exemple, tant qu'un capteur de pression n'a pas émis de message "*off*", il y a une très grande probabilité (pondérée par la fiabilité du capteur et du réseau pour prendre en compte les

erreurs possibles) pour que la personne suivie soit encore au même endroit (fauteuil, lit...). Avec un détecteur de mouvement, cette surface augmente avec le temps qui passe pour représenter la possibilité d'un mouvement non détecté, mais ne s'étend pas au-delà des champs des autres capteurs environnants puisqu'un événement de ces capteurs devrait déjà être enregistré avant de pouvoir rentrer dans leur zone d'observation (La présence de René sera détectée par le capteur de présence du salon avant de pouvoir activer les tapis tactiles qui s'y trouvent).

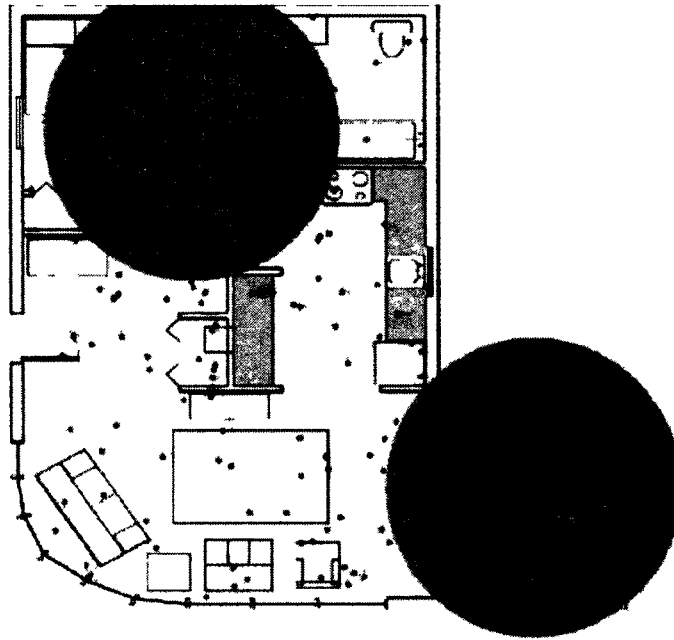


Figure 5 : Localisation, particules et surfaces des possibles dans le laboratoire DOMUS

L'intérêt principal de ce concept de cercle de circonstance est la possibilité d'ajuster sa surface (surface des possibles) en fonction du profil de la personne (sa vitesse de déplacement, sa trajectoire probable selon l'heure de la journée, ses habitudes...). Toutefois, la granularité des capteurs dans l'appartement intelligent utilisé pour tester ce système n'est pas suffisante ou l'espace n'est pas assez grand pour

pouvoir utiliser de manière réaliste la vitesse de déplacement comme méthode d'identification. Le concept de la surface des possibles permettra tout de même de fournir des informations pour les projets intégrant le concept d'interface tangible et de contexte d'activité.

Dans l'agent de monitoring, la surface des possibles peut être affichée sous forme d'un cercle dont le diamètre croît avec le temps et s'arrête à l'espace possible dans lequel la personne peut se trouver (voir Figure 5). Au bout d'un certain temps, si un événement se produit hors de ce disque, l'agent considérera la possibilité d'une panne de capteur et agrandira son cercle.

Paradoxe

Un paradoxe est défini comme la réception d'un événement n'appartenant pas à la surface des possibles. La distance de l'événement par rapport à la position de l'agent déterminera le comportement de l'agent à ce sujet. L'agent le plus proche (déterminé par communication, concertation et intention) décide alors de la conduite à suivre.

La communication entre deux agents se réalise grâce à l'échange de messages. Ces messages sont des intentions et l'on peut concevoir l'échange comme étant la communication pour chaque agent de son désir, puis après considération de ceux des autres, de son intention. Cela s'explique puisque dans ce monde parfait et poli des agents, chacun transmet son intention préliminaire (c'est-à-dire le désir) et chacun attend de consulter tous les désirs des autres agents. La Figure 6 présente le message d'intention envoyé par l'agent personnel de Jeanne à tous les agents personnels (en l'occurrence, le sien et celui de René) lorsque Jeanne rentre dans l'appartement dans le scénario 3.1.4.4. Ce message transmet l'intention de prise en charge « TAKE » de l'agent et la distance entre la position de Jeanne et celle de l'événement (273).

La politesse s'arrête là et la loi du plus fort continue puisque l'agent le plus proche (condition qui pourra être redéfinie et pondérée par d'autres paramètres comme par exemple la prédiction de trajet) effectue le choix de la décision (se cloner, ignorer ou se déplacer).

```
(PROPOSE
  :sender ( agent-identifier :name Jeanne@bleuet:1099/JADE :addresses (sequence http://bleuet:7778/acc ))
  :receiver (set ( agent-identifier :name Rene@bleuet:1099/JADE :addresses (sequence http://bleuet:7778/acc ))
                ( agent-identifier :name Jeanne@bleuet:1099/JADE :addresses (sequence http://bleuet:7778/acc ))
              )
  :contant "Jeanne#TAKE#273#."
  :language INTENTION
  :conversation-id "1286973724215-0102"
)
```

Figure 6 : Message d'intention de Jeanne pour les autres agents personnels

Cette décision peut donc être le clonage de l'agent pour suivre ce qui apparaît être deux personnes différentes. L'agent peut également considérer qu'il s'agit d'un déclenchement erroné du capteur et donc ignorer cet événement. Enfin, l'agent peut supposer qu'un capteur n'a pas envoyé de signal alors qu'un événement aurait dû se produire (capteur défectueux, champ de détection non-exhaustif ...). Ce capteur non déclenché constitue un intermédiaire par lequel le cercle de circonstance se serait déplacé. L'agent choisit alors de se déplacer.

Un agent peut décider de se cloner et, par la suite, s'auto-supprimer. Cette étape peut enrichir un apprentissage pour éviter de reproduire cette erreur de jugement, l'apprentissage de la considération d'un capteur souvent défectueux à cet endroit ou d'une trajectoire particulière qui est hors du commun.

Il est à noter que le concept de discussion et d'élection de l'agent le plus proche (par échange de message) est également reproduit pour tout événement, même cohérent. En effet, les agents ne possèdent pas d'informations sur leurs collègues et réalisent toutes leurs opérations par le biais de l'environnement. Un événement cohérent

doit donc également faire l'objet d'une déclaration de désir, puis d'intention lorsqu'il n'y a pas de conflit.

Autosuppression

Un agent peut décider de disparaître si un temps trop long (selon spécification dans le fichier de configuration *datahandler.properties*) s'est écoulé sans autre événement cohérent alors qu'il aurait dû y en avoir un, par exemple un agent au milieu d'un champ de détection de présence. Des exceptions existent, pour certaines aires de repos spécifiées par un superviseur humain. En effet, tous les lieux de repos de l'appartement ne sont pas équipés de capteurs de pression (la présence continue sur le lit est par exemple connue) et donc ne donnent pas toujours de retour. Une alerte pourrait être envoyée afin de vérifier si un incident est survenu (une chute par exemple).

La décision d'autosuppression était au départ apprise avec une base de cas mais, comme peu d'erreurs de clonage ont été réalisées alors que de nombreuses erreurs d'autosuppression (sans causes réelles) sont apparues, elle est maintenant paramétrée comme une action automatique lorsqu'un agent suit une personne qui franchit la porte d'entrée. Comme l'appartement ne possède qu'une seule entrée, les possibilités de confusion sont faibles.

Ambiguïté

Il y a ambiguïté lorsque plusieurs agents partagent la même surface des possibles. Par exemple dans le cas d'un sofa à trois places ne possédant qu'un seul indicateur de pression ; Étant donné ce capteur déjà activé en "on", si un autre agent personnel (et donc une personne suivie) s'approche de ce sofa, il sera impossible de détecter si cette personne prend également place dessus.

Ce concept d'ambiguïté et la situation qui en découle peuvent être traités de deux façons. La première est que les deux agents en question puissent alors décider de fusionner, tout en gardant en mémoire que le nouvel agent suit deux personnes. Un

paradoxe sera dès lors plus probable, de par la séparation éventuelle des deux personnes. Toutefois cette solution, bien qu'elle simplifie les négociations de traitements, représente une perte d'informations puisque les profils des personnes suivies (voir section suivante) devraient opérer également une fusion. Ceci complexifie considérablement la séparation ultérieure.

La deuxième option est donc d'éviter les fusions. Le deuxième agent reste simplement à côté du premier, prêt à repartir avec la première personne à se lever. Cette solution pose d'autres problèmes pour la personnalisation dans la suite, puisque la personne qui s'est assise en second n'est pas détectée comme étant assise. Les assistances vont donc probablement différer de celles voulues, mais cette option génère moins d'erreur d'assistance, donc c'est celle qui est implémentée.

4.1.4 L'identification des personnes

Dans un but d'assistance et de personnalisation de l'environnement pour les résidents d'un appartement intelligent, connaître l'identité d'une personne détectée dans l'environnement peut être très important puisque cela permettra de lui associer un profil et donc de savoir quel niveau d'assistance elle requiert et quel type de personnalisation lui est dédié.

Sans avoir de capteur identifiant, il n'est pas possible d'identifier sans aucun doute les personnes suivies. Dans l'appartement DOMUS, il n'est pas réellement probant d'utiliser la reconnaissance de la vitesse de déplacement car cette information n'est pas suffisamment identifiante étant donnée la granularité actuelle des capteurs. Une technique possible serait l'apprentissage des mouvements habituels dès le lever, ou dès l'entrée dans l'appartement. Bon nombre de personnes âgées ou en perte d'autonomie acquièrent des habitudes, des automatismes voire des rituels dans les actions de la vie quotidienne. Un tel apprentissage pourrait utiliser des modèles de

Markov cachés. Une telle entreprise dépasse toutefois les limites de ce travail de recherche.

L'identification qui pose le plus de problèmes est la première identification. Une fois les personnes présentes connues, le maintien de cette connaissance repose sur les algorithmes de suivi de personnes. L'approche utilisée pour cette identification originelle est statique et dépend d'un capteur d'identification dont plusieurs stratégies sont développées (lecteur RFID, login demandé à un utilisateur entrant ou encore prévision des entrées dans un agenda) afin de se concentrer sur la partie suivante de l'identification : le suivi. En effet, même en connaissant l'identité d'une personne dans l'appartement, dans le cadre d'un environnement multi-personnes, des ambiguïtés peuvent se présenter sous la forme de deux personnes au même endroit.

Quand a-t-on réellement besoin d'identifier les personnes ? Avec quelle précision ? Ces deux questions sont primordiales puisqu'elles dirigent les algorithmes d'identification. On peut se passer la plupart du temps d'une précision exacte dans l'identification parce que les modules d'assistance sont prévus pour s'adapter très aisément à un changement de niveau. Toutefois dans certains cas, il peut être très important de savoir avec quelle personne le système communique. Si une des personnes est sourde, lui envoyer des informations d'assistance orales ne lui sera absolument d'aucune utilité. On a donc parfois besoin d'identifier de manière certaine les personnes pour pouvoir personnaliser l'environnement ou les assister. Tant que la personnalisation ou l'assistance ne sont pas nécessaires, la question ne se pose pas vraiment, à part pour établir un parallèle parfait entre la réalité et les moniteurs graphiques, ce qui n'est pas un but recherché.

Le système ICEMAS suit ainsi les personnes en gardant un doute sur chaque identification. Chaque trace de perturbation localisée et suivie par un agent de localisation est associée à toutes les personnes identifiées originellement. Cette association est pondérée par leur probabilité de correspondance. En cas de personnalisation de l'environnement ou d'assistance nécessitant une identification

précise, l'interface homme-machine prévue (écran tactile, son et reconnaissance de parole ou autre) de l'agent d'assistance (agent ayant pour but d'assister une tâche pour une personne, voir 4.4.6) peut lever le doute sur cette identification, en proposant à la personne de confirmer son identité de manière simple. Un apprentissage pourrait être rajouté par la suite afin de réduire au minimum les interactions non nécessaires avec les personnes et ainsi augmenter la transparence du système.

4.1.5 Conclusion

La localisation des personnes est réalisée dans ICEMAS en associant un agent personnel par personne suivie. Chacun de ces agents personnels utilise un filtre à particule bayésien pour suivre les déplacements et mouvements de la personne. Ils communiquent entre eux pour synchroniser leur gestion des événements et suivre de la manière la plus appropriée la trace physique des mouvements humains. Des processus d'identification leur sont associés et font le lien entre les mouvements des personnes perçus et les identités des personnes à la source de ces mouvements.

On a proposé une base fonctionnelle et efficace de localisation multiple fondée sur des capteurs anonymes. Les agents développés sont de plus capables de s'adapter très facilement à l'utilisation de capteurs identifiants ou celle d'une caméra vidéo en cas de besoin. L'identification est donnée au départ, puis suivie au cours des déplacements dans l'appartement. Les algorithmes implémentés étant clairement séparés du reste du traitement au moyen du patron de conception « state/strategy », des améliorations futures ou des changements d'algorithmes seront aisés et rapides. La fiabilité et la précision du système sont détaillés dans les résultats (Chapitre 5).

4.2 Profils, personnalisation et assistance

Pour pouvoir assister une personne dans ses tâches quotidiennes et personnaliser son environnement selon ses préférences, il nous faut connaître les tâches pour lesquelles elle nécessite de l'aide, connaître ses préférences de personnalisation et posséder son emploi du temps habituel. Ces informations font partie du profil. En possédant l'information sur la localisation exacte d'une personne donnée et des autres personnes présentes dans l'appartement, on réunit les autres éléments d'information de contexte nécessaires pour assister ladite personne dans son milieu de vie. La section 4.2.1 présente les raisons d'utilisation des profils et les techniques permettant la transparence de la personnalisation. La section 4.2.2 définit les règles de gestion de conflits. La répartition des jugements est expliquée en 4.2.3 avant de conclure (4.2.4) brièvement.

4.2.1 Les profils : une mémoire évolutive pour la transparence de l'assistance

Les personnes ne nécessitent pas toutes des personnalisations de l'environnement, ni des assistances semblables. L'intérêt de l'utilisation des profils est donc d'affiner la réponse de l'appartement pour une personne en fonction des données qui lui sont associées. Un aidant humain qui assiste une personne en perte d'autonomie possède dans sa mémoire les informations pertinentes qui lui permettent de procurer à la personne l'aide dont elle a besoin. Les profils jouent un rôle similaire dans le système, permettant aux agents de suivi, d'identification, de personnalisation et d'assistance de fonctionner au mieux de leurs possibilités pour offrir aux personnes de l'habitat, un niveau de vie agréable et sans danger. La suite de cette section prend en exemple René et Jeanne, tous deux résidents de l'appartement, et décrit les informations de leur profil respectif.

Les informations de profils contiennent beaucoup de connaissances qui peuvent servir à différentes inférences. Un premier exemple d'information de profil est la liste des particularités ou handicaps de la personne concernée, afin de pouvoir inférer les médiums de communication utilisables pour cette personne. Si René est sourd, il sera complètement inutile et superflu de lui donner des indications sonores. Les moyens d'attirer son attention seront donc visuels. Une autre inférence tirée de cette information est que, pour apporter de l'aide à une seconde personne dans le même espace restreint, les signaux audio seraient des bons moyens d'éviter des interférences d'assistance. On peut par exemple assister Jeanne pour une tâche en donnant des informations auditives et assister René à l'aide d'un écran tactile affichant des vidéos muettes des étapes de réalisation.

Le profil de René contient également des informations sur sa vitesse de déplacement pour faciliter son identification, des informations sur ses habitudes (organisation de sa routine matinale, heure habituelle des repas ... voir 3.1.2) pour faciliter la détection des tâches à assister et dans une moindre mesure la personnalisation de son environnement (en fonction des tâches détectées).

Le profil contient aussi des informations sur le niveau d'assistance que René et Jeanne requièrent pour chaque tâche. On y trouve deux autres catégories d'informations en lien direct avec la personnalisation de l'environnement et l'assistance : les préférences et l'agenda. Les préférences représentent toutes les spécifications qui peuvent avoir une influence sur les projets d'assistance aussi bien que les spécifications des préférences de « bien-être » (niveau de lumière, niveau sonore de l'assistance, type de voix de l'assistance ...). La Figure 7 propose un extrait du profil de Jeanne montrant ses préférences.

<i>Profils : exemples de préférences pour Jeanne</i>	
<pre><Profile> <name>Jeanne</name> <preferences></pre>	Profil pour Jeanne Partie Préférences
<pre><Light> <area> <id>5</id> <level>max</level> </area> <area> <id>2</id> <level>medium</level> </area> ... </Light></pre>	Luminosité Localisation : dans le salon Niveau : Maximum Localisation : dans la chambre Niveau : Moyen ...
<pre><Sound> <area> <id>2</id> <level>0</level> </area> <area> <id>5</id> <level>5</level> <Voice>DeepMan</Voice> </area> ... </Sound></pre>	Son Localisation : dans la chambre Aucun Localisation : dans le salon Moyen (5/10) Voix profonde d'homme
<pre></preferences></pre>	Fin des préférences

Figure 7 : Extrait de profil de Jeanne : Préférences

L'agenda contient les rendez-vous ou événements importants de la personne associée au profil en question. Cet agenda est essentiel dans l'identification d'un nouvel arrivant. On peut déterminer avec une incertitude relativement faible l'identité d'une personne arrivant à l'heure prévue dans l'agenda (l'aidant ou le médecin par exemple). Bien que cet agenda soit représenté de manière simple dans le profil comme montré dans la Figure 8, les données peuvent être renseignées depuis une autre source (un calendrier en ligne par exemple). Le profil ne garde que l'essentiel de l'information afin

de faciliter son traitement. Lors de l’affichage d’un rendez-vous à venir, l’agent d’assistance télécharge le contenu entier de l’événement afin d’afficher toutes les informations disponibles (Photos des participants, raison du rendez-vous ...).

<i>Profils : exemples d'agenda pour Jeanne</i>	
<pre><Profile> <name>Jeanne</name> <agenda></pre>	Profil pour Jeanne Partie Agenda
<pre> <event> <date>2010-08-27</date> <time>17h</time> <location>here</location> <with>Mehdi</with> <alarm> <sound>Visit</sound> <when>-15</when> </alarm> </event> ...</pre>	Un événement de l’agenda prévu pour le 27 août 2010 à 17h dans l’appartement avec Mehdi (le médecin) Le rappel de visite sonnera 15 minutes avant le rendez-vous ...
<pre></agenda></pre>	Fin de l’agenda

Figure 8 : Extrait de profil de Jeanne : Agenda

Un agent de profil permet de renseigner les autres agents attribués à René ou Jeanne sur leur profil respectif. Cet agent est responsable de la gestion du profil, de la mise à jour de ces données, et de la sauvegarde des informations modifiées (rendez-vous déplacé, niveau d’assistance modifié pour une tâche, etc.)

4.2.2 Les conflits de profils

Dans quelle mesure la personnalisation peut-elle prendre le contrôle sur les désirs d’un résident ? Comment gérer les conflits qui peuvent être induits par plusieurs actions de personnalisation ou d’assistance en parallèle ? Dans les cas où René et Jeanne

partagent le même espace atomique (espace non sécable par des capteurs) quel profil prendre prioritairement en compte ?

La gestion de l'interprétation du profil dans l'environnement pour une seule personne peut sembler relativement simple à première vue mais une résolution statique peut y être inadéquate. L'environnement doit être ajusté à la personne en respectant les lois de l'appartement. Un conflit concerne le rapport entre un choix de l'utilisateur et une responsabilité civique, comme par exemple le désir de la personne d'augmenter le son de la stéréo après 23h alors que les considérations civiques imposent un respect des voisins. Le système informatique a-t-il le droit ou le devoir d'imposer des règles ? De les conseiller ? La régulation et la résolution de conflits se font de manière distribuée comme décrit en section 4.2.3, en laissant beaucoup de possibilités de paramétrage pour proposer un système qui garde autant de libertés que possible sans laisser de failles de sécurité pour l'habitant.

Le problème se complique encore pour personnaliser l'environnement lorsque plusieurs personnes sont présentes dans l'appartement. En effet, on rencontre rapidement des conflits qu'il faut pouvoir gérer avant de personnaliser l'environnement. Le conflit est facilement soluble dans le cas de René et d'une personne n'habitant pas l'appartement (un médecin en visite par exemple) puisque des règles simples sont mises en place pour toujours donner la priorité à René car le médecin ne nécessite pas la même attention. La résolution demande plus de réflexion lorsque l'on prend en compte René et Jeanne qui doivent tous deux avoir la même priorité dans l'appartement. Prenons le cas de René qui lit le journal au salon tandis que Jeanne regarde la TV, également au salon. Le profil de René indique qu'il nécessite beaucoup de lumière pour lire le journal mais le profil de Jeanne indique qu'elle préfère regarder la TV dans la pénombre.

La méthode de résolution utilisée dans ICEMAS est de considérer les activités en cours ou les personnalisation en cours pour chacune des personnes et d'en comparer les priorités au niveau des effecteurs qui reçoivent les requêtes. Des règles dynamiques reposant sur le degré de dépendance au système de chacun (indiqué dans les profils respectifs) sont implémentées dans les agents d'environnement qui gèrent ces effecteurs. Ces agents représentent les interfaces entre l'intelligence du système et les effecteurs de l'environnement. Dans notre exemple de lecture pour René et de visionnement pour Jeanne (scénario 3.1.4.4), la comparaison oppose une nécessité physique (le besoin de lumière) à une préférence. Le système privilégie la nécessité physique et un agent d'environnement reçoit donc l'ordre d'allumer la lumière. L'agent personnel de René choisit toutefois d'allumer la lampe la plus proche de René comme seule source de lumière afin de concilier les deux doléances des personnes.

Dans le cas de l'assistance d'une tâche, certaines résolutions de conflits sont statiquement prévisibles, comme la dominance de priorité du résident de l'appartement par rapport à un visiteur (selon la priorité de leur profil). La réalisation concurrente de deux activités dans la cuisine par deux résidents de l'appartement est un cas dans lequel les deux personnes ont la même priorité. Par exemple, René et Jeanne ont tous deux besoin d'assistance pour des tâches dans la même pièce et de même priorité et les deux modules d'assistance souhaitent utiliser une communication visuelle pour les guider. La résolution de ce conflit dépend des médias d'interaction présents, du contexte (activité pressante ou non), et des informations de profil des deux personnes (René dépendant plus du système que Jeanne) car une solution simple n'est pas évidente. Si toutes les conditions sont égales (même priorité d'assistance, même médium et aucun autre disponible, même dépendance), le système continue d'assister la première personne arrivée dans la pièce et assiste la seconde dès que possible.

4.2.3 Des jugements répartis

Chaque personne dispose d'une priorité d'assistance. Un visiteur non connu par le système possède la priorité la plus basse, tandis que les résidents possèdent la priorité la plus élevée. Chaque profil contient cette information, ainsi les agents peuvent donner priorité à la personne la plus nécessiteuse ou la plus dépendante sur le système. Si René et Jeanne ont la même priorité, les agents d'assistance se référeront à la différence de priorité des tâches elles-mêmes. En effet, prendre ses médicaments est plus urgent que de préparer un thé. Les agents d'environnement sont alors consultés pour connaître leur disponibilité et ils exercent également un jugement sur l'ordre des accès à autoriser. Une tâche d'assistance supplantera par exemple une personnalisation basique lors de l'accès aux effecteurs.

Plusieurs niveaux sont donc conçus pour traiter les différents conflits d'assistance ou de personnalisation de l'environnement. La règle suivie dans ces choix de développement est de laisser le jugement à l'agent le plus à même de voir les implications potentielles. Cela implique parfois les agents locaux d'environnement qui disposent d'une perception ciblée, mais le plus souvent ces négociations se font au niveau personnel, que ce soient les agents de personnalisation ou les agents d'assistance.

Les décisions de personnalisation de l'environnement ou d'assistance sont dépendantes de plusieurs types de gestion de conflits. Une intelligence ambiante implique des jugements locaux et répartis afin de répondre au mieux aux besoins de chaque personne. La gestion de conflits entre les préférences d'une personne dans l'appartement et les lois ou le respect civique des voisins est un bon exemple de jugement réparti.

René étant presque sourd, il met habituellement le son de la TV très fort. S'il a tendance à oublier l'heure à laquelle il est préférable d'éviter les débordements sonores, un jugement d'assistance fait par un agent d'environnement peut lui rappeler en

surimpression sur l'écran de la TV qu'il est plus de 23h et que le son est très fort. Si c'est plutôt le cas d'un oubli d'extinction de la TV avant d'aller se coucher, l'agent d'assistance peut s'en charger, ou tout au moins couper le son. Cette dernière possibilité permet également de faire un rappel discret et peu intrusif pour que René se rende compte le lendemain qu'il n'avait pas éteint le poste. Si René s'est endormi dans son fauteuil et que cela est détectable, l'agent d'assistance prend l'initiative de baisser le son graduellement, ou de réveiller René pour qu'il prenne une position de sommeil plus appropriée (dans son lit) si son profil indique qu'il accepte les communications vocales. C'est toutefois une considération qui dépend des personnes car elle peut être ressentie comme intrusive.

Un jugement dans l'agent d'environnement qui gère la TV est local à l'agent et empêche le son de monter au-delà d'un certain niveau, en permanence ou après une certaine heure selon le profil local de l'agent. Ce jugement peut également être configuré pour ne concerner que les actions du système (et pas les choix de René), afin d'empêcher les agents d'être la cause d'une incivilité ou d'une infraction à la loi, tout en laissant le libre choix de comportement à René.

Il peut également y avoir, comme mentionné précédemment, des conflits de personnalisation ou d'assistance entre plusieurs personnes. Un conflit de personnalisation de l'environnement se règle aussi à plusieurs niveaux. Le niveau le plus bas est l'accès aux effecteurs, par exemple si un agent souhaite éteindre la lumière (par souci d'économie d'énergie) d'une pièce dans laquelle la personne suivie n'est plus présente, alors qu'une autre personne s'y trouve. Le jugement d'action revient alors à l'agent d'environnement en charge de la lumière, qui décide de conserver les luminaires allumés car il personnalise encore l'environnement pour quelqu'un.

Un niveau intermédiaire se trouve lors des réglages concurrents des effecteurs de l'environnement pour la personnalisation. Dans le cas du scénario de cohabitation des deux résidents (3.1.4.4), à 21h l'agent de René souhaite allumer la lumière pour faciliter

la lecture, tandis que celui de Jeanne souhaite l'éteindre afin de procurer une bonne ambiance de visionnement. Le jugement d'action est ici le résultat d'une négociation entre les agents de personnalisation pour trouver une solution. L'agent de René va alors chercher la liste des points de lumière proches de René et propose une solution acceptable pour les deux : la lampe de lecture allumée et le plafonnier éteint. L'agent de Jeanne acquiesce et l'agent de René effectue la personnalisation.

Le dernier niveau est une coopération similaire des agents d'assistance déclenchés par les agents de personnalisation. Lorsque René et Jeanne doivent être assistés tous les deux au même moment dans la cuisine pour deux tâches différentes, une négociation des agents va déclencher l'assistance orale de Jeanne, parallèlement à l'assistance visuelle de René qui, malentendant, ne sera pas perturbé par les consignes vocales. Différentes raisons peuvent rendre cette conciliation impossible : parce que Jeanne ne veut pas être assistée vocalement, parce qu'une assistance vocale n'est pas disponible pour cette tâche ou parce que les canaux sonores sont déjà utilisés. Si la conciliation échoue, les règles de priorité rentrent en jeu au niveau des agents d'environnement.

4.2.4 Conclusion

Des profils sont mis en place pour permettre la gestion plus organisée des handicaps, des préférences, des habitudes et de l'agenda de chaque personne. La sauvegarde et la mise à jour de ces profils sont gérées par un agent de profil qui transmet les informations pertinentes aux agents personnels de suivi de personnes et d'identification, aux agents d'environnement pour la personnalisation et aux agents d'assistance, selon leurs besoins. Les conflits sont résolus à différents niveaux (priorité de personnes, de personnalisation, de dépendance au système, de tâche à assister, et d'accès aux effecteurs) afin de permettre des jugements répartis et appropriés.

Les agents présentés dans cette section forment des maillons d'une chaîne d'agents (agents personnels, agents d'assistance, agents de personnalisation, agents d'environnement) qui permet à un HIS de personnaliser l'environnement et d'assister le cas échéant plusieurs personnes à la fois. Une grande quantité d'interactions est nécessaire pour les différentes négociations et un grand nombre d'agents hétérogènes assurent le bon fonctionnement du système en garantissant un maintien à jour des différents contextes. La définition d'une structure organisée devient indispensable pour éviter les failles de conception voire de sécurité. La section suivante présente la conception d'une spécification organisationnelle qui permet de structurer et de décrire formellement les fonctionnalités, les missions, les buts et les interactions des rôles attribués aux agents.

4.3 Organisation et adaptabilité

L'assistance et la personnalisation de l'environnement se veulent fondées sur une vision du contexte et une vision locale de l'environnement. Cette vision donnera une réponse à la question : « Que puis-je faire pour aider ou assister la personne que je surveille avec les ressources dont je dispose localement ? ». La solution qui répond conceptuellement à ce problème est un système multi-agents puisque qu'il élimine toute centralité et gère l'espace local indépendamment de l'espace global. Un agent qui tombe en panne ne met en aucun cas en péril le reste du système et les agents n'ont pas besoin de toute la connaissance omnisciente des événements dans l'appartement mais seulement des perturbations de l'environnement pertinentes au contexte local. Le nombre d'agents et leur diversité nous incitent à spécifier une organisation pour structurer leur fonctionnement.

La section 4.3.1 présente tout d'abord le fonctionnement général du système multi-agents et le formalisme de la spécification organisationnelle du système multi-agents en tant que tel. La spécification structurelle est détaillée dans la section 4.3.2, la spécification fonctionnelle en 4.3.3, la spécification d'interactions en 4.3.4, la spécification déontique qui les lie ensemble en 4.3.5 pour finir par les spécifications d'implémentation dans la section 4.3.6. La section 4.3.7 propose une modification à cette spécification qui permet l'ouverture sur les utilisations de plusieurs appartements intelligents au moyen de l'imbrication de plusieurs systèmes multi-agents. Une conclusion 4.3.8 clôt cette partie.

4.3.1 Fonctionnement général et formalisme

Un apprentissage par base de cas a été réalisé avec des sujets sans troubles (des collègues du laboratoire) et les paramètres (localisation, nombre de particules dans les filtres, distance de séparation entre deux événements) ont été ajustés à la main. Ceci aurait pu se faire grâce à l'équipement du laboratoire, qui comprend une caméra mobile, mais une solution plus rapide a été d'enregistrer les traces d'événements perçus en

jouant les scénarios sous forme XML afin de pouvoir les rejouer à volonté. Ainsi, cet apprentissage à base de cas est devenu un fonctionnement normal répété du système, en modifiant les paramètres pour affiner les réactions du système. Ceci a grandement facilité la recherche d'erreurs et l'amélioration de la gestion des cas courants prévus par les scénarios.

Le système multi-agents possède une grande base paramétrique (sous forme de fichiers de propriétés) qui permet aux agents de configurer leurs comportements. Ces comportements peuvent être aussi bien des réactions rapides (réponses aux messages, persistance de l'information...) que des réflexions plus évoluées (algorithmes de réponse aux messages, stratégies de séparation ou d'autosuppression). L'apprentissage du système s'est fait par son exécution répétée en changeant les paramètres manuellement afin d'adapter son comportement général et les réactions de chaque agent par rapport à l'environnement (appartement, capteurs et personnes). Ces paramètres seront décrits dans la suite.

Pour s'assurer de la réponse adéquate du système aux problèmes posés par le domaine d'application de personnes atteintes de déficiences cognitives, une étude fonctionnelle a été nécessaire. Cette étude met en relief les besoins d'assistance et de personnalisation requis et permet d'extraire certaines règles de gestion de conflits. Elle définit également les buts généraux puis les sous-buts qui les composent, avant de préciser les missions que les agents doivent entreprendre pour assister les personnes et personnaliser l'environnement.

Afin de permettre une modification facile du système ainsi qu'une cohérence logique dans sa construction, une étude structurelle est également nécessaire. Cette étude comprend la réflexion hiérarchique et décisionnelle pour chaque agent ou groupe d'agents, de leurs rôles et de leurs possibilités de communication intra ou intergroupe [Carabelea et Boissier, 2006]. Ces communications précisées, il est intéressant et

nécessaire de définir plus en détail la composition de ces communications, sous forme de protocoles d'interactions.

Enfin, une étude de la capacité des agents et de la correspondance des missions avec les agents ou les groupes d'agents donne une correspondance déontique (l'obligation, l'interdiction, la permission et le facultatif) et permet de proposer une structure dynamique de l'organisation des missions et la résolution des buts par les agents ou groupes d'agents.

La communication entre agents, chaque agent étant un processus à part, est relativement compliquée. Il est plus simple de prévoir de manière déterministe les protocoles de discussions entre agents et de préparer des algorithmes pour y répondre mais leur communication doit pouvoir se complexifier et être augmentée facilement dans l'évolution du système. D'autre part, nous nous trouvons confrontés à des questions de hiérarchie, de communications entre agents qui utilisent plusieurs protocoles (discussion, ordre, négociation...) selon leur interlocuteur. Chaque agent implémente donc un patron de conception "command" pour recevoir les messages des autres agents et agir en conséquence.

La formalisation de la structure intrinsèque du système multi-agents a permis de recentrer l'organisation sur le cœur du sujet : l'assistance et la personnalisation de l'environnement. Les bases ont été développées dans le cadre d'une collaboration avec Olivier Boissier, Jomi Hubner et Rosine Kitio au département de Système Multi-Agents du Centre de Génie Industriel et Informatique de l'École des Mines de Saint-Étienne. Leur spécialité étant l'organisation des systèmes multi-agents, nous avons ensemble décortiqué le projet pour en extraire les informations essentielles.

Le principe de cette formalisation est d'approcher l'organisation du système multi-agents par trois spécifications complémentaires :

- SS : Spécification Structurelle : définit pour les agents leurs groupes, leurs rôles possibles et les liens entre eux
- SF : Spécification Fonctionnelle : définit les missions et les buts du système
- SI : Spécification d'Interactions : définit les protocoles de toutes les communications possibles entre agents jouant des rôles et complétant des missions

La Spécification Déontique (SD) lie ensuite les trois précédentes. Elle permet de mettre en relation un rôle avec un ensemble (Lien, Protocole, Mission).

En plus de ces spécifications de niveau conceptuel, une descente au niveau implémentation décrit une spécification agent, une spécification de déploiement et une vérification de cohérence. Ces trois dernières étapes sont le fruit des réflexions produites par les quatre premières (SS, SF, SI et SD).

4.3.2 Spécification Structurelle

La spécification structurelle permet de mettre en évidence les groupes de rôles que pourront emprunter les agents du système, leurs relations hiérarchiques et les liens de communication qui les relie. L'intérêt de décrire des groupes se trouve dans la définition, pour chaque groupe, du mode de communication entre les rôles qui le composent, du partage d'informations et des rôles éventuellement compatibles, c'est-à-dire endossables par un même agent simultanément.

Cette structure se compose ici d'un groupe principal "Intelligent Home" qui contient tous les autres groupes ainsi que les rôles indépendants (voir Figure 9). Ce

groupe principal est utile dans le cas où l'on gère plusieurs appartements intelligents en parallèle ou d'autres espaces intelligents. Le groupe "Guardian Angels" contient tous les rôles de monitorat, d'assistance et de personnalisation de l'environnement pour une personne suivie dans l'appartement. Un groupe "Guardian Angels" existe pour chaque personne présente dans l'appartement et les rôles de type "Angels" gèrent les informations de la personne. Le rôle "Context Mgr" gère le contexte de la personne (localisation, tâche en cours et tâches amorcées), le rôle "Agenda Mgr" gère son agenda, le rôle "People Mgr" gère son identification et le respect de sa vie privée tandis que le rôle "DL Assistant" (*Daily-Living Assistant* : Assistant de vie personnelle) s'occupe de la personnalisation de l'environnement et de l'assistance pour ses besoins. Tous les agents jouant les rôles de ce groupe peuvent communiquer entre eux et peuvent communiquer avec les agents jouant ces rôles pour un autre groupe (donc pour une autre personne dans l'appartement). Tous les rôles de la Figure 9 seront décrit plus en détail dans la suite de ce document.

Le comportement des agents, leurs capacités à communiquer et leurs relations d'autorité les uns par rapport aux autres dépendent directement de leur situation au sein d'un système intelligent donné. Un changement d'environnement entraînerait des modifications de ces comportements. Par exemple, si René se déplace avec son système multi-agents dans le cabinet intelligent d'un médecin, la relation d'ordre entre les rôles de son groupe "Guardian Angels" et les rôles des agents gérant les appareils électroniques du cabinet sera plus égale, et une négociation aura lieu plutôt qu'un ordre. Dans la spécification structurelle à la Figure 9, on peut voir les liens de communication entre les différents rôles avec leurs différenciations inter et intragroupe :

- acq : Attribution et Acquisition du rôle pointé comme sous-traitant
- com : Échange de communication entre deux rôles
- aut : Relation d'autorité sur le rôle pointé (ordre)
- compat : Relation de compatibilité des deux rôles liés pour un même agent

On définit également les relations d'héritage et de composition. L'héritage apporte, en plus des notions de base du génie logiciel, la transmission des liens de communication. Par exemple, tous les agents hérités du rôle abstrait Angels (soit Context Mgr, Agenda Mgr, People Mgr et DL Assistant) peuvent communiquer entre eux et sont compatibles puisque Angels est auto-compatible et auto-communicant.

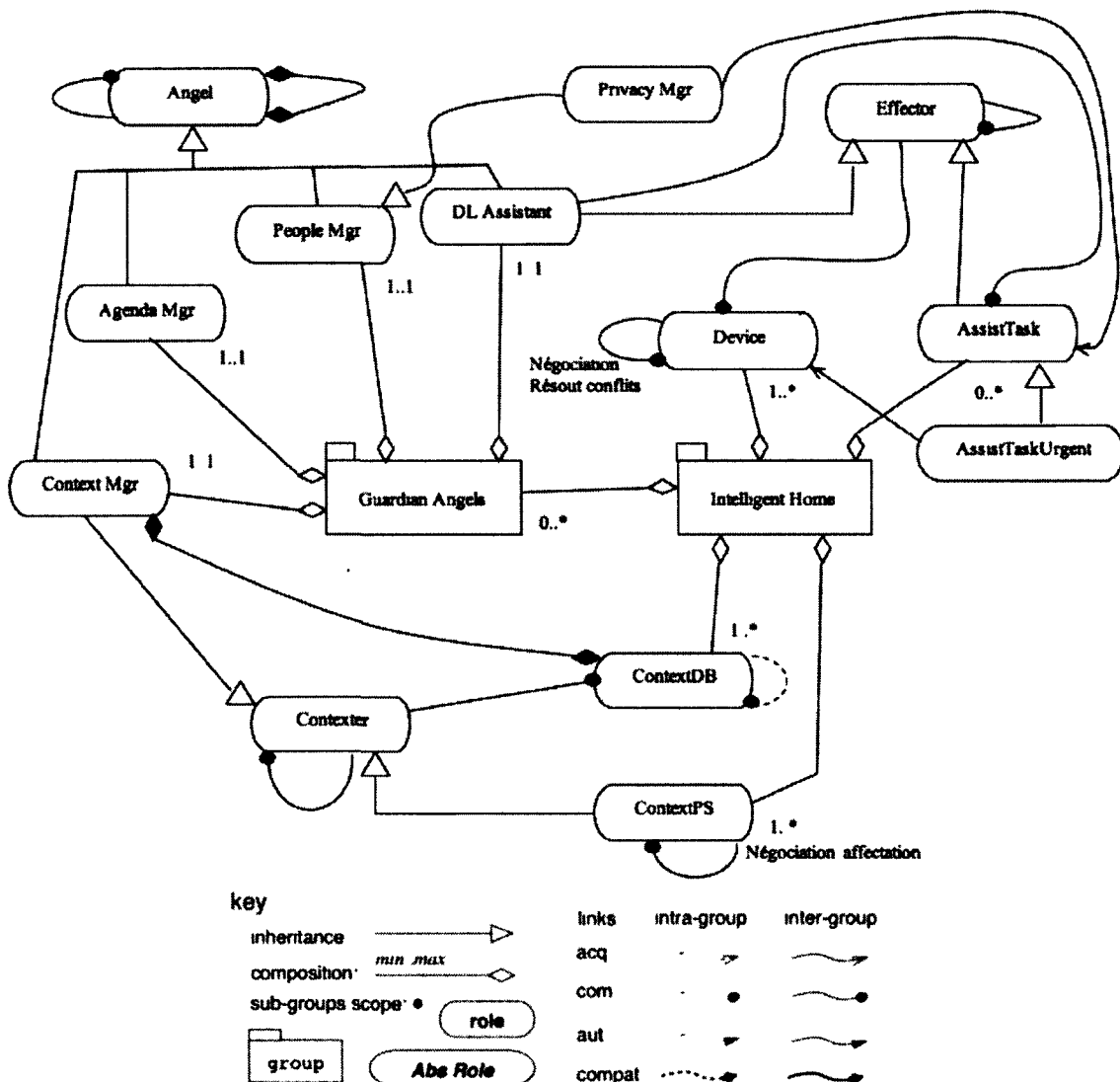


Figure 9 : Spécification structurelle du système multi-agents régissant un habitat intelligent

Plusieurs autres rôles notables sont définis en complément des fonctionnalités citées. Un agent ayant le rôle de "Contexter" aura pour mission de maintenir le contexte local et le contexte global à jour, c'est-à-dire, par exemple, de périodiquement vérifier si une nouvelle information (un capteur de porte, un changement de localisation ...) a modifié le contexte et de mettre à jour ce contexte le cas échéant. Un agent ayant le rôle de "Device" pourra communiquer avec ses pairs pour établir des négociations et résoudre les conflits dans l'utilisation des différents appareils qui influent sur l'environnement. Un agent jouant le rôle d' "AssistTask" prendra en charge la gestion des interactions et des inférences liées à l'assistance fournie pour une tâche particulière, selon le profil de la personne assistée. Par exemple, il décidera des effecteurs à utiliser pour assister René dans la préparation de son café en prenant en compte le profil de René (surdité, aide de haut niveau nécessaire, aide pour la planification ou la mémorisation ...).

Cette spécification structurelle (Figure 9) nous donne un organigramme de hiérarchie du système multi-agents dans l'appartement. L'implémentation de cette structure sera décrite dans la suite (4.4). Les sections suivantes présentent les autres spécifications qui décrivent le système.

4.3.3 Spécification Fonctionnelle

La spécification fonctionnelle concerne les fonctionnalités du système multi-agents. La méthodologie utilisée pour la définir précisément a été de schématiser les buts principaux du système sous forme d'un arbre, en premier lieu sans se soucier de leur vérifiabilité. La racine de l'arbre était donc "assister une personne dans son contexte", avec ses premiers fils "connaître le contexte" et "assister la vie quotidienne". De manière récursive, nous avons explicité les buts pour aller chercher des sous-buts facilement vérifiables et atomiques ou presque, comme l'identification de l'activité d'une personne P ou l'action sur l'environnement une fois que toutes les données d'inférence sont en la possession de l'agent ou des agents chargés de ce but. En

descendant jusqu'à un niveau très fin de définition des buts, nous souhaitons générer une liste de buts dont la répartition entre plusieurs agents serait facile.

Les buts non vérifiables sont souvent les buts complexes qui n'ont pas de fin dans le temps : il est possible de vérifier qu'une tâche a été faite et que l'assistance est complète mais la vie ne finit pas ... et donc son assistance non plus. Une fois les principaux buts trouvés, les buts non vérifiables ont été supprimés pour donner plusieurs sous-arbres que l'on appelle "schémas d'activation". Ils correspondent à des algorithmes d'échange, de négociation, d'inférence et de décision que les agents vont prendre d'une manière collective.

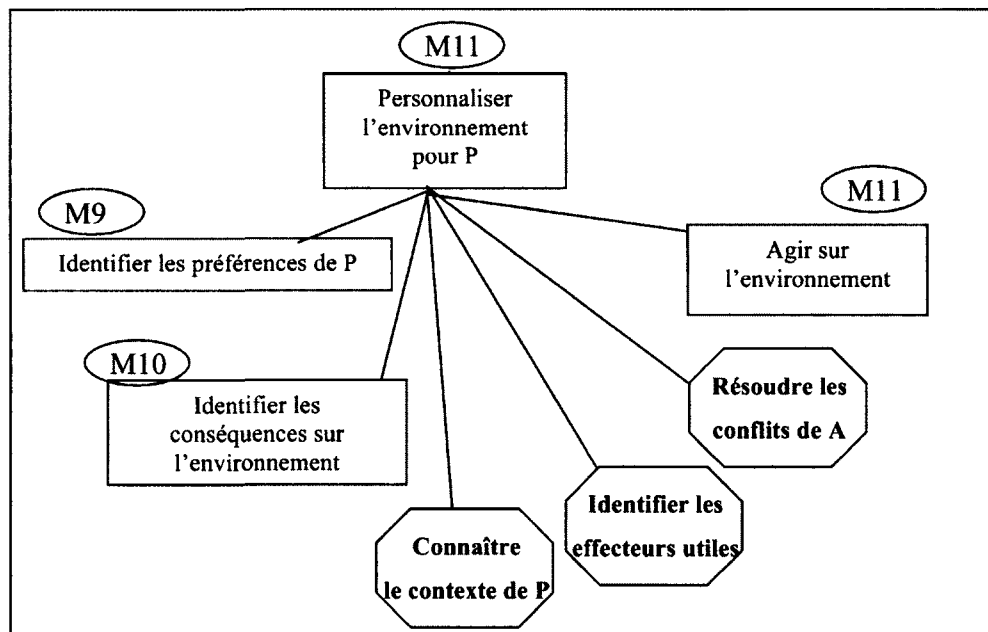


Figure 10 : Spécification fonctionnelle de la personnalisation de l'environnement pour une personne P et son activité en cours A

Ces schémas s'activent lorsque toutes les données d'entrée (données de l'environnement et/ou résultats d'inférence et de calcul des sous-butts précédents) sont disponibles et que les sous-butts les précédant dans l'ordre du schéma ont été réalisés. Par exemple, l'exécution du schéma d'activation pour personnaliser l'environnement

pour une personne P (Figure 10) déclenche l’activation des schémas de connaissance du contexte de P (Figure 11), d’identification des effecteurs utiles (Figure 12) et de résolution de conflits pour l’activité en cours A de la personne P (Figure 13).

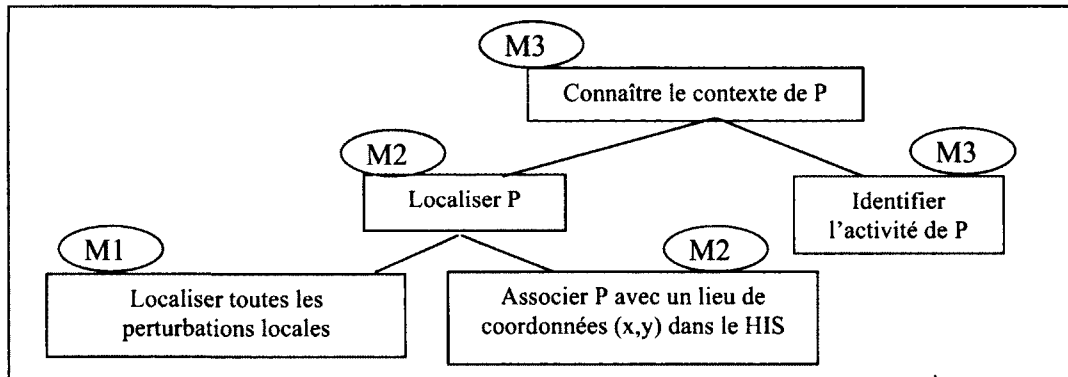


Figure 11 : Spécification fonctionnelle de la connaissance du contexte d’une personne P

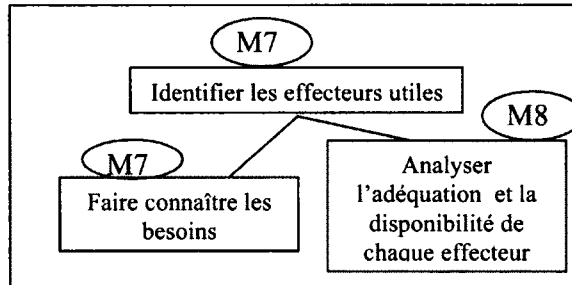


Figure 12 : Spécification fonctionnelle de l’identification des effecteurs (*devices*) utiles

Des missions (Mx dans les Figures) sont été définies pour synthétiser une suite de buts cohérents. Une mission est un engagement qu’un agent doit remplir lorsqu’il « choisit » de jouer un rôle. Ce choix de rôle est, dans cette version de conception du système, assigné par la spécification d’agents (les agents sont conçus avec certaines capacités et sont toujours volontaires pour effectuer une mission s’ils en sont capables). Une mission peut être effectuée par plusieurs agents en parallèle et nécessite certaines capacités (entre autres de synchronisation dans le cas d’une mission faite par plusieurs

agents). Les schémas d'activation présentés indiquent la définition des buts, des missions et leur ordonnancement selon les objectifs perçus.

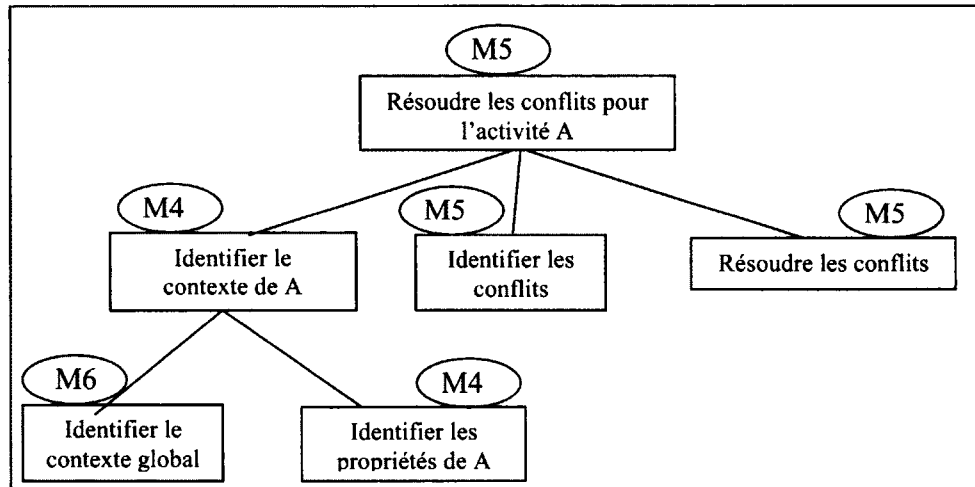


Figure 13 : Spécification fonctionnelle de la résolution de conflits pour une activité A

4.3.4 Spécification d'interactions

Cette spécification définit les interactions entre des rôles dans des groupes donnés selon la mission qu'ils poursuivent. Pour arriver à extraire toutes ces informations sur cette spécification (ainsi que sur les deux précédentes), nous avons dressé des diagrammes de séquence, comme celui en Figure 14, fondés sur des parties de scénarios. L'étude de ces diagrammes a permis de distinguer les comportements récurrents et donc propices à l'établissement de protocoles. On peut trouver dans ces diagrammes les cycles de vie des agents (ex : CP[René] agent de contexte du point de vue de René) et les messages qui s'échangent au cours du scénario (IR.Salon pour le déclenchement du détecteur infrarouge du salon, PS1.Salon pour signifier une présence humaine dans l'environnement au salon, René.Fauteuil Salon pour signifier que René est localisé dans son fauteuil au salon, etc.).

Un exemple d'interaction est la négociation entre deux agents de localisation (jouant le rôle de « contextPS » dans la Figure 9) pour déterminer quel agent prendra en charge la gestion d'un événement (capteur de présence déclenché). Cette interaction nécessite un protocole particulier de négociation, avec plusieurs échanges, un vote et une inférence, comme décrit dans la section 4.3.1. Une partie cruciale est la détection d'une nouvelle personne comme montre la Figure 14.

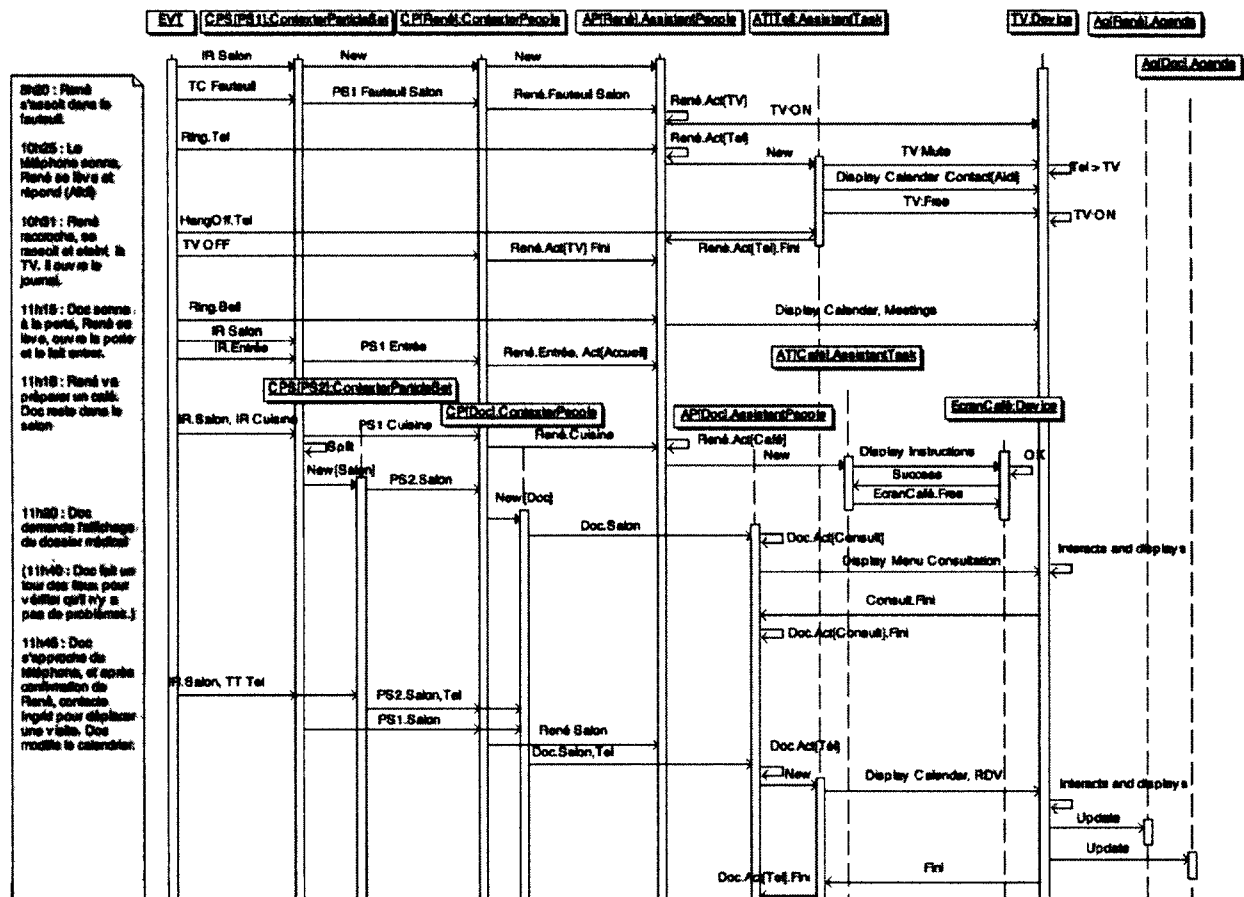


Figure 14 : Diagramme de séquence pour le début du scénario 3.1.4.1

Une autre interaction possible est la communication entre un agent jouant le rôle de « DLAssistant » (voir Figure 9), c'est-à-dire Assistant de vie quotidienne, et un

agent jouant le rôle de « Device » pour ajuster le niveau de lumière dans le salon en fonction de l'activité en cours. Cette interaction se compose d'une commande directe sans négociation, selon la relation d'autorité les liant. La Figure 15 décrit la gestion de multiple personnes dans l'appartement et les ajustements entre l'agent personnel d'Aïdi et l'agent d'environnement de lumière.

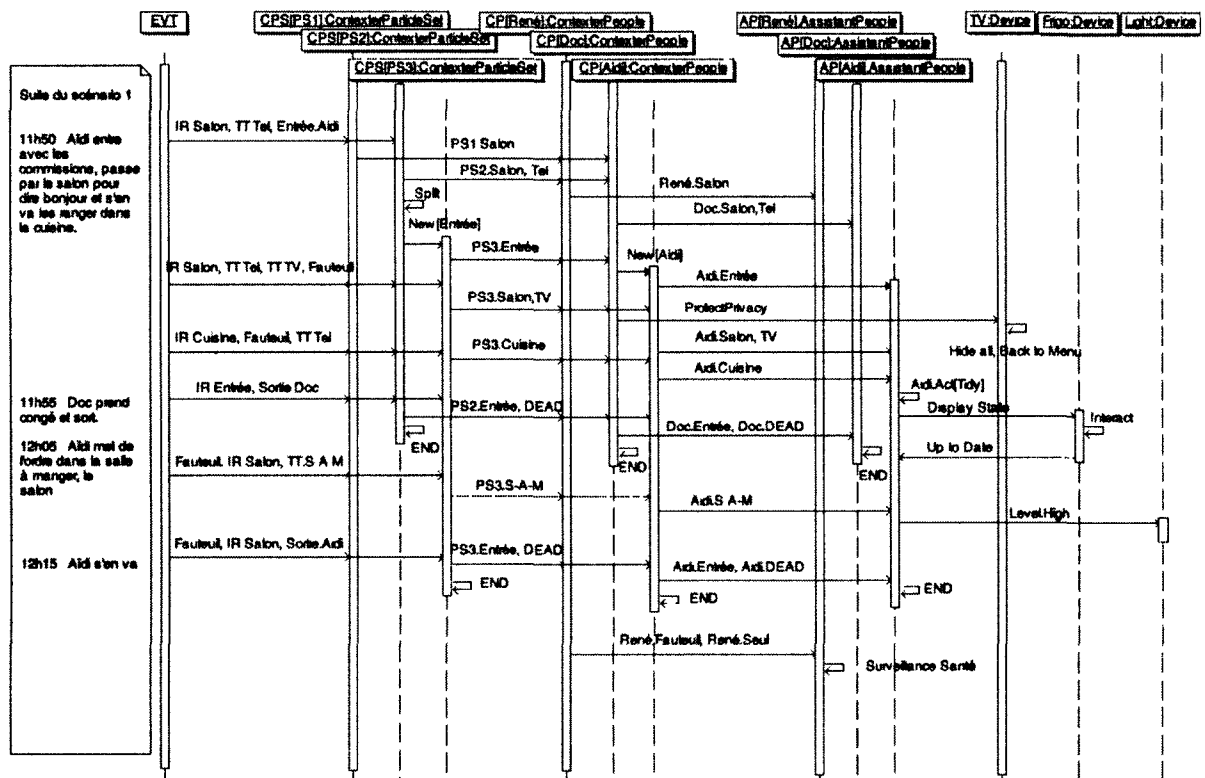


Figure 15 : Multi-personne et ajustement de l'environnement

Ces deux interactions sont très différentes et pourtant vont avoir lieu très souvent. Établir une spécification d'interactions permet de définir les protocoles de communications à utiliser et donc de les mettre à disposition. Ce côté dynamique des interactions serait perdu dans un "codage en dur" des échanges possibles où les agents

possèderaient simplement les algorithmes de protocoles et non la réflexion qui les déclenche. Avec cette spécification, les agents peuvent inférer la meilleure méthode pour réaliser leur but, puis utiliser les protocoles définis pour communiquer avec les agents adéquats.

4.3.5 Spécification Déontique

La spécification déontique définit l'affectation des missions de la spécification fonctionnelle aux rôles de la spécification structurelle (Tableau 11) et l'affectation des couples (protocoles, missions) de la spécification d'interactions aux liens de communication définis dans la spécification structurelle (Tableau 12). Cette spécification établit des correspondances entre les spécifications structurelles, fonctionnelles et d'interactions afin de donner une cohérence au système. Elle se présente sous forme de tables de correspondance.

Tableau 11 : Extrait de spécification déontique : rôles et missions

Déontique	Rôle	Missions
Obligation	Context Mgr	M1 (contexte local)
Permission	Context Mgr	M6 (contexte global)
Obligation	People Mgr	M2, M4, M11
Obligation	DL Assistant	M3, M9, M14, M5, M15
Obligation	Device	M7, M12

Tableau 12 : Extrait de spécification déontique : missions, protocoles et liens d'interaction

Déontique	Mission / Protocole	Lien d'interaction
Obligation	M9 / Négociation	com(Angel-Angel)
Permission	M15 / Ordre	aut(DL Assistant-Device)
Permission	M14 / Requête	com(Angel-Angel)
Obligation	M9 / Requête	com(DL Assistant-Device)
Obligation	M12 / Négociation	com(Device-Device)

Ces tables de correspondance sont des points clefs de la spécification du système multi-agents puisqu'elles définissent le système selon notre logique et notre point de vue. Une modification de la spécification structurelle serait appropriée dans le cas d'un changement de l'espace physique ou du domaine d'application. Un changement de spécification fonctionnelle serait nécessaire si les buts généraux du système changeaient (par exemple s'il ne s'agissait pas d'assister mais de superviser). Un changement de spécification d'interactions pourrait être nécessaire lors de l'ajout de nouveaux éléments dans le système ou d'un changement d'architecture de communication. La spécification déontique peut être changée pour orienter le fonctionnement global du système dans une autre direction.

4.3.6 Spécifications d'Implémentation

Chacune de ces quatre spécifications SS, SF, SI et SD est indépendante et dynamiquement modifiable. Elles constituent ensemble la spécification organisationnelle. La division et la précision de ces spécifications offrent une base très solide au système multi-agents et une possibilité accrue de réutilisation ou de modification dynamique d'un système adapté à une personne. Un développement *ad-hoc* peut être plus rapide à mettre en place (quoique la spécification joue également le

rôle d'étude détaillée pour la programmation orientée objet utilisée dans l'implémentation du système) mais se serait révélé plus lourd à modifier dans le cas d'une adaptation dans un autre habitat intelligent ou un autre espace intelligent (le cabinet d'un médecin par exemple).

En plus de la spécification organisationnelle, des spécifications supplémentaires permettent de guider le développement. Il s'agit de la spécification agent, de la spécification de déploiement et de la vérification de cohérence.

Spécification Agent :

La spécification agent décrit la structure logicielle et les accès matériels nécessaires aux agents du système. Elle commence par la décomposition des buts en capacités. Ces capacités sont des algorithmes d'inférence, des savoir-faire et des canaux de communication (réflexion, implémentation de décisions, délégation, négociation et coordination).

On peut ensuite établir la correspondance entre agents et capacités, avec éventuellement une spécification de capacité de communication. Cette correspondance nous donne un aperçu du possible dans la génération des agents et nous indique les besoins de modularité dans ces capacités (réutilisation des mêmes algorithmes partiels). Le développement des capacités est simplifié grâce à cette étape et les agents peuvent être générés avec les compositions de capacités prévues.

Grâce à ces deux descriptions (capacités nécessitées par les buts et capacités affectées aux agents), il est possible de faire la liste des agents du système et leur associer les buts qu'ils sont capables de réaliser en fonction de leurs capacités. Cette étape est déjà une vérification préliminaire de cohérence puisqu'on se rend assez vite compte des chaînons manquants si des buts ne sont pas réalisables par les agents appropriés.

Spécification de Déploiement:

La spécification de déploiement décrit un modèle statique de base pour lancer l'organisation dynamique. Cela commence par l'affectation des agents à leur rôle. Dans le modèle d'organisation originel, les agents choisissent le rôle qu'ils souhaitent jouer. Ce niveau d'intelligence et de décision *a priori* n'est pas encore pensable dans l'implémentation actuelle, mais le système d'organisation peut fournir un retour sur les rôles les plus à même de concerner l'agent et ses capacités. Un agent peut aussi recevoir ses capacités modulaires après avoir déclaré son allégeance à un rôle en particulier. Cette association entre agents et rôles permet de connaître les ressources physiques dont ils ont besoin afin de gérer dynamiquement dans un projet ultérieur la relocalisation de ces agents dans les puissances de calcul présentes dans l'environnement.

Ensuite vient l'application de la spécification structurelle et sa quantification : le nombre de groupes de chaque type et le nombre d'agents pour jouer tous les rôles, les machines sur lesquelles les agents sont déployés, les canaux de communications à utiliser, etc.

Vérification de la cohérence:

La vérification de la cohérence peut être utilisée à tout moment et consiste à inverser la réflexion faite jusqu'à présent et à en vérifier l'adéquation à la tâche proposée. On peut par exemple faire correspondre les agents, les rôles et les capacités afin de s'assurer qu'il existe toujours au moins un agent qui possède les capacités de jouer un rôle donné ou qu'il existe toujours les capacités nécessaires pour jouer tous les rôles.

Une autre vérification est la correspondance entre missions, protocoles de communication et agents. Les agents possèdent-ils les bons protocoles de communication pour les missions auxquelles leurs rôles les obligent ? Les protocoles de communication sont-ils tous définis pour toutes les missions dans leur cadre de

fonctionnement ? Existe-t-il des missions qui ne sont jamais affectées, des protocoles redondants ou des agents oisifs ?

Enfin, la dernière vérification est une table de correspondance globale avec agents, rôles, missions et buts. Elle vise à mettre en correspondance et à vérifier la cohérence générale du système pour s'assurer qu'il y a bien des agents pour tous les rôles, des rôles pour toutes les missions, des buts pour tous les agents ... Une spécification formelle se reposerait sur ces vérifications, permettant de voir en un seul instant les déficits éventuels du système.

Ces méthodes de vérification se font à la main. Elles pourraient être automatisées mais cela relève plus de la création d'une plate-forme de spécification que de ce sujet de thèse.

4.3.7 Des environnements pour des personnes

Le modèle d'organisation présenté dans la section précédente est une structure très intéressante pour la mise en place d'un système et son fonctionnement avec des agents connus. On peut toutefois aisément remarquer deux parties dans la spécification structurelle : une partie structurant les rôles auxquels sont associés des missions concernant les personnes (*Angels*), et une partie structurant les rôles déterminants pour l'espace intelligent (*Contexters, devices...*). La structure globale est limitante car elle force ces deux parties à interagir statiquement. Différentes configurations de l'appartement et des personnes y habitant seraient donc considérées comme des implémentations différentes et incompatibles.

Du point de vue de l'installation du système, on peut considérer qu'une configuration globale d'un système comprend la configuration de l'espace et les configurations personnelles des personnes. La configuration de l'espace représente la description des technologies disponibles (capteurs, effecteurs, puissances de calculs...)

et les ressources utilisables (dimensions, règles locales...). Une configuration personnelle représente la distribution d'agents associés à une personne (différents besoins selon les personnes, leurs troubles et leur manière de personnaliser l'environnement ou d'être assistées).

Par ailleurs, on s'attend généralement à ce que des visiteurs dans notre lieu de vie soient respectueux des limites de l'hospitalité. L'intégration d'une configuration personnelle et d'une configuration locale est régie par des lois similaires. Il serait inadmissible qu'un agent personnel dépasse les limites fixées par le système d'un habitat. Cette relation est encore une configuration de plus. Autant de configurations possibles indiquent bien qu'une restructuration du système multi-agents proposé est bénéfique. On propose donc une **organisation locale** pour structurer les configurations possibles des espaces, une **organisation personnelle** pour structurer les configurations personnelles possibles et une **organisation relationnelle** pour régir les conditions d'imbrications et de gestion de conflits entre les organisations personnelles et locales (une personne par rapport aux possibilités et aux règles de l'appartement) ou encore entre plusieurs organisations personnelles (plusieurs personnes et leurs interactions dans l'environnement).

En reprenant les mêmes concepts et rôles décrits dans la section précédente, l'**organisation locale** se compose des rôles responsables des accès aux capteurs et aux effecteurs (*Actuator*) de l'environnement physique et des négociations de bas niveau entre les agents d'environnement. La Figure 16 présente la spécification structurelle de cette organisation locale. Cette organisation peut maintenant gouverner différentes configurations d'habitats intelligents, y compris des espaces comme un cabinet de médecin, sans dépendre aucunement du fonctionnement de l'organisation personnelle.

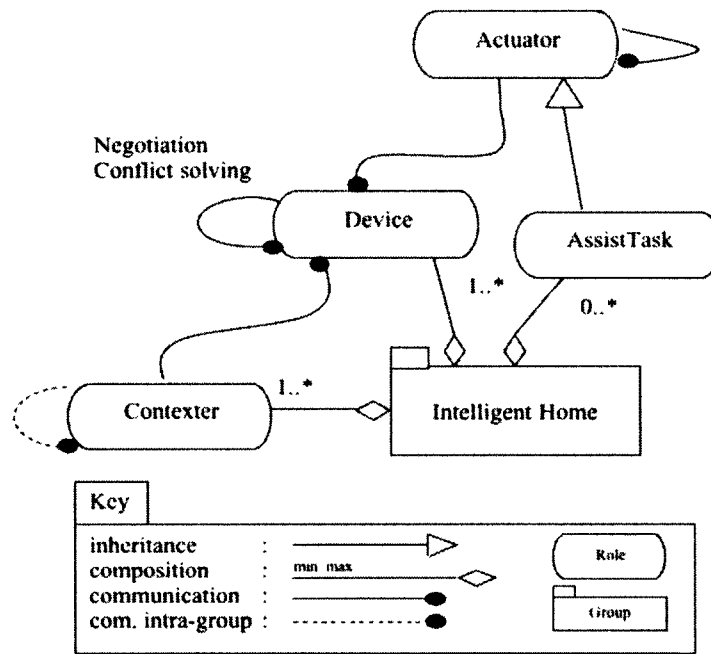


Figure 16 : Spécification structurelle de l'organisation locale

L'**organisation personnelle** rassemble les éléments déjà décrits permettant de réaliser des buts de haut niveau comme la personnalisation de l'environnement et l'assistance aux personnes. La séparation des liens trop forts qui existaient avec l'organisation locale lui permet de représenter uniquement une personne et ses besoins, communiquant au besoin avec l'environnement perçu, qu'il soit physique dans le cas d'un espace intelligent, ou virtuel dans le cas d'un assistant de poche qu'une personne transporte avec elle. Dans un espace intelligent, le fonctionnement serait similaire à celui décrit dans ce chapitre. Dans le cas d'un environnement virtuel, les agents jouant les rôles dérivés d'« Angel » s'efforceront de faciliter ses occupations, en proposant des assistances telle que l'agenda, les rappels de rendez-vous ou d'activité, la budgétisation ou encore le guidage dans les déplacements. Des projets de recherche qui proposent de telles assistances existent déjà, et les encapsuler dans des agents d'assistance permettra

de les intégrer au système. La Figure 17 propose la spécification structurelle indépendante de l'organisation personnelle.

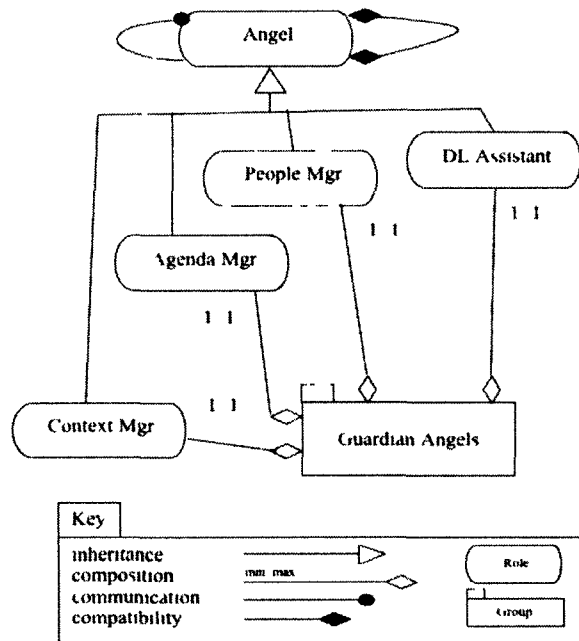


Figure 17 : Spécification structurelle de l'organisation personnelle

L'aspect le plus intéressant de considérer chacune de deux organisations à part est la manière de pouvoir gérer les liens de communications entre elles. Comme il a été discuté en détails, de nombreux conflits possibles existent entre les désirs d'une personne et l'environnement ainsi qu'entre plusieurs personnes présentes au même endroit. Les gestions de conflits sont déjà prévues et des mécanismes et algorithmes de traitement permettent de trouver dynamiquement des solutions acceptables pour toutes les personnes et pour l'appartement.

Toutes ces résolutions partent de l'hypothèse que les agents sont connus du système, respectueux et coopératifs. Qu'en est-il pour des agents venus de l'extérieur,

qui n'ont pas été développés dans le même cadre et dans la même optique ? On ne peut forcer tout le monde à utiliser le même système et un des atouts majeurs de JADE est qu'il respecte les spécifications FIPA. En suivant ce standard, des agents externes peuvent communiquer avec les agents d'ICEMAS et ils ont ainsi le potentiel d'utiliser les infrastructures physiques des organisations locales qui les accueillent.

Avant de laisser des agents externes interagir dans le système, il faut toutefois pouvoir garantir qu'ils respecteront les règles de l'environnement physique et avoir un moyen de réprimander, punir voire exclure des agents malicieux ou non coopératifs. Une admission officielle doit donc être nécessaire pour communiquer avec l'environnement et un système de sécurité doit être présent pour mettre en application les lois et les sanctions prévues. L'**organisation relationnelle** représente donc un ensemble de rôles et de spécifications d'interaction qui permettent à un agent approuvé de communiquer avec les agents d'environnement de l'organisation locale ainsi qu'avec les autres agents des organisations personnelles. La Figure 18 propose une représentation graphique de l'imbrication d'une organisation personnelle dans une organisation locale par l'intermédiaire de l'organisation relationnelle proposée.

Dans l'optique de faciliter la résolution de conflits entre les organisations personnelles et l'organisation locale ou même entre plusieurs organisations personnelles, le rôle de « citizen » (citoyen) est créé. Ce rôle possède des obligations de missions axées sur le respect des règles de l'habitat. Tout agent d'une organisation personnelle qui désire communiquer avec les agents d'environnement doit jouer le rôle de « citizen » afin de garantir son adéquation aux conditions de son acceptation.

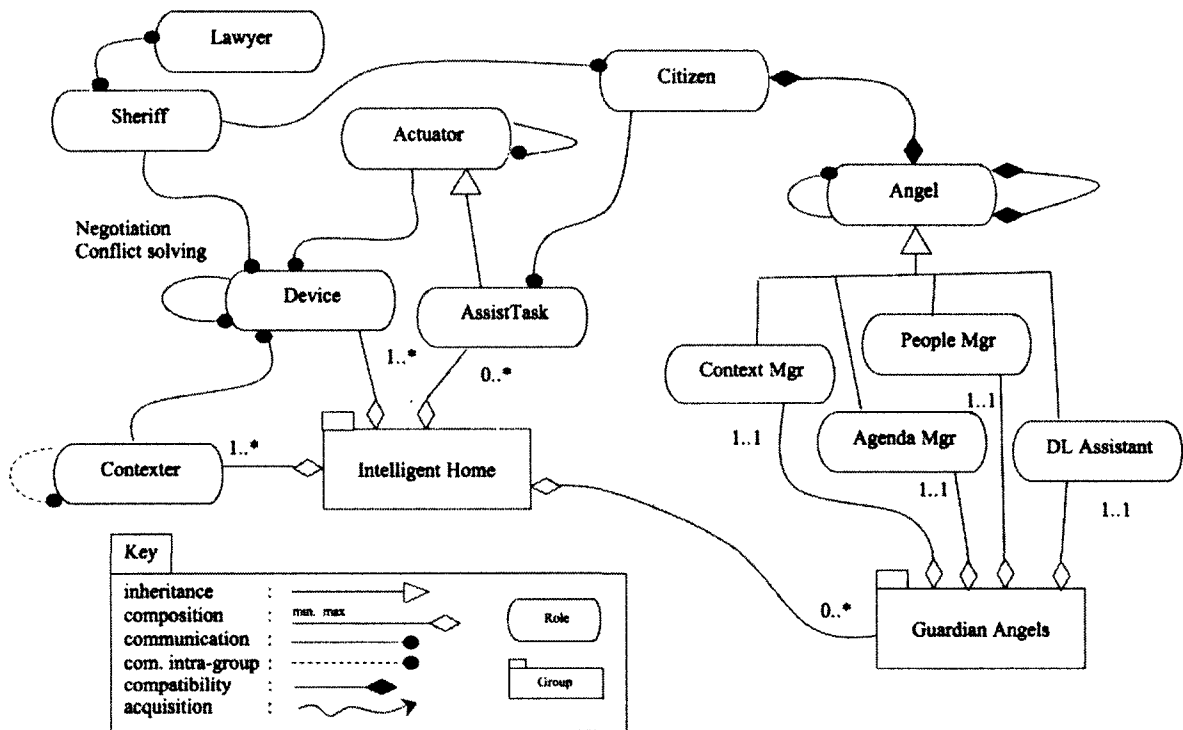


Figure 18 : Spécification structurelle résultant de l'imbrication des organisations locale et personnelle par l'intermédiaire d'une organisation relationnelle

Lorsqu'une personne ne possède pas de système multi-agents en entrant dans l'appartement, un système respectant l'organisation personnelle lui est créé. Il est fondé sur les agents prévus et donc son intégration se fait sans problèmes dans l'organisation locale. C'est dans le cas d'un agent externe dont le développement et les comportements n'ont pas été contrôlés que ce rôle de « citizen » prend son sens. Seul ce rôle possède les liens d'interactions et les protocoles nécessaires pour communiquer avec les agents d'environnement locaux, et un agent qui joue ce rôle à l'obligation de respecter les lois et les règles locales.

Le principe d'endosser un rôle et d'être sous l'obligation de remplir une mission est un concept plus général que dans le simple cadre de cette recherche, mais il dépend toutefois encore de l'implémentation de l'agent. Un agent malicieux peut prétendre accepter ces responsabilités seulement pour avoir accès aux agents d'environnement sans réellement obéir les lois. Deux rôles additionnels sont donc conçus pour appliquer les lois et les sanctions échéantes : un rôle de « Sheriff » et un rôle de « Lawyer ».

Le rôle de « Sheriff » a pour mission de contrôler le respect continu des lois et des règles de la maison (pas de bruit après 23h par exemple). En cas de violation des lois, le Sheriff peut à la première infraction punir l'agent par une perte de privilège comme une priorité plus basse dans les négociations. La deuxième infraction donne lieu à une période de probation où tous les accès aux agents d'environnement sont faits au moyen d'un proxy. La troisième infraction pousse le Sheriff à éjecter l'agent de l'organisation. Dans le scénario 3.1.4.5, Victor entre dans l'appartement de René. Son système multi-agents régi par une organisation personnelle demande l'accès dans l'organisation locale et ses agents de personnalisation et d'assistance endossent le rôle de « Citizen ». Si l'agent jouant le rôle de « DL Assistant » pour Victor commande à l'agent de contrôle de température de baisser son niveau sans entreprendre de négociations avec le système de René, le Sheriff émet un avertissement en rappelant les règles. Sur réitération, le Sheriff désactive le lien d'ordre entre le « DL Assistant » de Victor et les agents d'environnement de l'appartement.

Le rôle de « Lawyer » a pour mission de connaître les règles, de les faire connaître à tous les citoyens et de les changer lorsque c'est nécessaire ou lorsque c'est demandé. Le Sheriff peut par exemple décider qu'une règle est obsolète, car tous les agents la violent et finissent par perdre tous leurs liens de communication. Cette vérification est bien sûr validée par le résident ou un responsable technique. Les résidents d'HIS peuvent également changer manuellement des règles au moyen de l'agent jouant le rôle de « Lawyer », par exemple pour permettre à un visiteur fréquent de pouvoir baisser un peu la température ambiante.

L'ajout conceptuel que représente la séparation des organisations personnelles et locales avec l'extraction d'une organisation relationnelle est une grande avancée dans le domaine des habitats intelligents puisqu'il permet de gérer plusieurs personnes dans plusieurs espaces à la fois. On commence à entrevoir des possibilités de continuité de personnalisation et d'assistance qui fourniront constamment à leurs utilisateurs la meilleure expérience de vie possible, dans tous les environnements compatibles.

Une configuration identifiée sans toutefois faire l'objet d'une étude plus approfondie dans ce travail de recherche est celle qui considère les conflits d'une personne dans un habitat intelligent avec une autre personne, résidente de l'appartement mais absente au moment du conflit. Devrait-il rester un « fantôme » de la personne absente influant sur les choix et la personnalisation courante ? Si Jeanne est absente, les agents de René ont-ils tous les droits ? Ces questions font partie des pistes de recherche possibles dans le futur.

4.3.8 Conclusion

Cette section sur l'organisation et l'adaptabilité avait pour but de décrire et d'expliquer l'utilité d'organiser un système multi-agents. Le système en entier et toute la spécification organisationnelle ont tout d'abord été explicités en détail, avant de proposer une modification structurelle pour permettre plus d'adaptabilité. La conception de la spécification organisationnelle a été un atout majeur pour le développement objet orienté agent de la solution d'implémentation. Elle a permis de définir formellement les comportements, capacités et algorithmes d'interactions des agents du système. Ceux-ci sont décrits plus en détail dans la section suivante.

4.4 Détails d'implémentation

Cette section propose la description des détails d'implémentation logicielle des agents du système ICEMAS. La partie 4.4.1 propose les informations de code et les détails techniques d'implémentation. Les sous-sections suivantes présentent tour à tour les agents implémentés, leurs techniques de création et les principales structures qui les composent. On y trouve les descriptions de l'agent de données (4.4.2), des agents de ressources (4.4.3), de l'agent personnel (4.4.4), des agents d'environnement (4.4.5), de l'agent d'assistance (4.4.6) et des agents de monitoring (4.4.7). La Figure 19 illustre la répartition de ces agents dans l'HIS. Enfin, la partie 4.4.8 présente le fonctionnement de la démo utilisée pour faire tourner les scénarios.

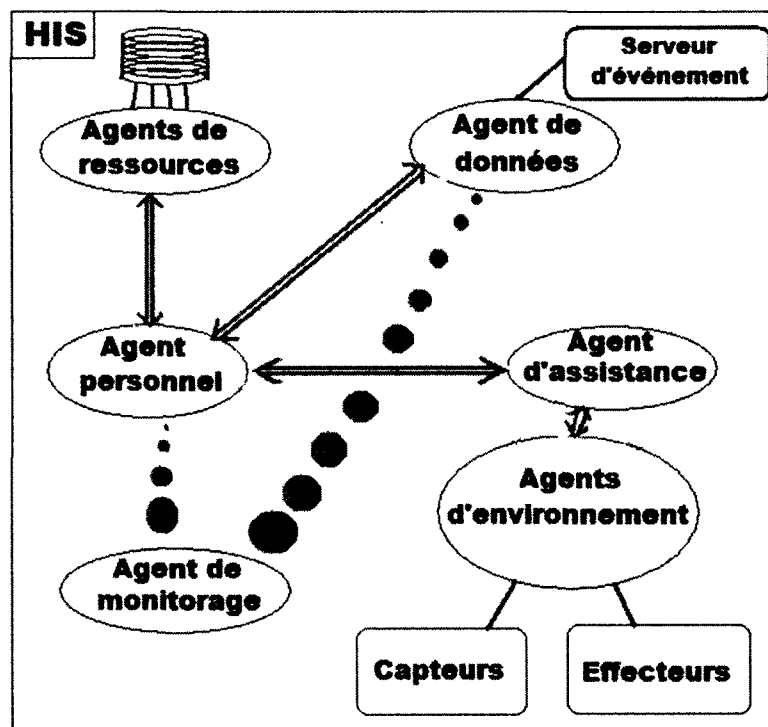


Figure 19 : Vue globale des agents dans l'HIS

4.4.1 Informations de code et détails techniques

ICEMAS et tous les agents qui le composent sont codés en langage Java. Le code source est compatible 1.5, mais l'utilisation de certaines bibliothèques (nouveau serveur d'événement) implique un fonctionnement avec Java 1.6. Les agents utilisent le *framework* JADE (version 3.7). Le code source se trouve sur un serveur de version SVN au laboratoire DOMUS sous le nom de projet « **domus-icemas** ». ICEMAS représente plus de onze mille lignes de code, dans cent quatorze classes et trois projets. ICEMAS utilise une bibliothèque externe « domino » extraite du projet Dynamo de Youcef Rahal. On utilise Maven v2.2.1 et Archiva pour les résolutions de dépendance et Hudson comme moteur d'intégration continue.

Un premier projet « *icemas-core* » rassemble les algorithmes et les fonctionnalités utilisés par tous les agents. Notamment, on y trouve dans le package *icemas.data* les algorithmes de traitement des filtres à particules dans un patron de conception « Strategy » qui permet de choisir l'algorithme à utiliser. Dans le package *icemas.particles* on trouve les classes nécessaires au traitement des particules et les fonctions de probabilité utilisées par les différents capteurs. Le package *icemas.environment* rassemble les classes de représentation des aires d'activité, des capteurs et des effecteurs ainsi que les classes utilitaires d'analyse des fichiers XML de description de l'environnement. L'exécutable de ce projet doit être lancé sur chaque plateforme matérielle (ordinateur) que l'on souhaite utiliser pour le déploiement d'ICEMAS après avoir renseigné le fichier de configuration *host.properties* avec le nom du container et l'adresse du container Jade principal. Le container principal est le même exécutable avec la valeur « *i.am.the.server* » mise à *true* dans *host.properties*.

Un deuxième projet « *icemas-agents* » rassemble dans huit mille cinq cent lignes de code toutes les classes des agents du système ICEMAS. Un package est défini pour chaque type d'agent, avec un sous-package *behaviours* dans lequel on trouve ses comportements possibles. C'est le projet dans lequel tous les comportements et le

fonctionnement de chaque agent sont programmés. Tous ces agents sont mobiles et peuvent être déployés sur toutes les plateformes disponibles (MacOS X, Windows XP et supérieur, Linux). Les mentions de comportement font référence au concept de « Behaviour » que JADE procure. Les capacités sont des classes séparées disponibles à la création des agents afin de permettre une plus grande flexibilité de construction. Chaque agent dispose entre autres, selon le *framework* JADE, d'une méthode *setup* qui décrit sa création, l'analyse des arguments qu'il reçoit, son enregistrement dans les pages jaunes et le lancement de ses premiers comportements.

Le troisième projet « *icemas-demo* » est la démonstration d'utilisation du système, avec la classe exécutable qui lance les premiers agents et tous les fichiers de configuration nécessaires au bon fonctionnement du système.

Par ailleurs, toutes les descriptions des profils des personnes, des agents d'environnement, des assistances et personnalisations disponibles sont situés sur un serveur de fichier dont l'adresse est renseignée dans le fichier de configuration *remote.properties* dans le projet « *icemas-demo* ».

Le système ICEMAS peut tourner sur une seule machine, mais il est fortement conseillé de créer un container JADE à part pour les agents personnels sur une machine multi-cœurs afin d'éviter des retards de traitement. En effet, chaque agent personnel utilise un filtre à particules dont le traitement est gourmand. Plusieurs agents personnels qui se partageraient un même processeur pourraient prendre du retard d'analyse et de suivi sur les événements réels lorsque ceux-ci sont déclenchés à fréquence élevée (plus d'une dizaine par seconde).

4.4.2 L'agent de données

L'agent de données est l'agent responsable de la connexion aux sources d'événements. Il dispose d'un patron de conception *Strategy* pour gérer le mode de connexion. Dans le cas du laboratoire Domus, une source unique de communication des événements existe, sous la forme d'un serveur d'événements qui interroge les interfaces

électroniques de centralisation des données des capteurs (Le PLC par exemple : *Programmable Logic Controller*). Une des stratégies est de se connecter au serveur d'événements en utilisant un mode DPWS (*Devices Profile for Web Services*) et une autre de s'y connecter en utilisant le mode par *sockets*. Après l'achèvement du projet de réseaux de capteurs dans le laboratoire, une autre stratégie pourra être implémentée pour découvrir et écouter les différentes sources d'événements. Une dernière stratégie propose de rejouer des traces d'événements préalablement enregistrées.

Une interface graphique simple permet de consulter l'heure du dernier événement, de demander l'arrêt temporaire de l'écoute des événements (ou la pause de la lecture dans le cas d'un fonctionnement sur traces) et le redémarrage par la suite. Cela permet de pouvoir ajuster les paramètres ou les capteurs pour affiner la réponse du système lors de l'exécution, sans être submergé par les événements. Une console inscrit l'historique des événements détectés et envoyés.

Les comportements de cet agent sont déterminés par ses missions. Il joue entre autres le rôle de « Contexter ». Il s'enregistre dès sa création auprès du système de pages jaunes de JADE en temps que « icemas-data-server ». Il peut ainsi recevoir les requêtes puis abonner des agents intéressés par les événements, les désabonner par la suite et lancer la création d'un agent de localisation lorsque aucun n'existe dans l'environnement et que des événements surviennent. Il garde en outre un historique complet des événements survenus depuis sa création.

L'abonnement et le désabonnement se font par un protocole de requête et d'accusé de réception. La distribution des événements se fait ensuite dans un comportement cyclique utilisant un protocole de propagation simple. Ce concept est basé sur le patron de conception *Observer*. Une fonctionnalité de filtrage peut être utilisée pour désactiver certains événements non pertinents. Par exemple, les capteurs de présence déclenchent un événement lors d'une perturbation dans leur champ de détection et un autre événement après environ trois secondes sans perturbations. Ce

deuxième événement n'est jamais pertinent dans notre cas, car si une personne n'est plus dans un champ, c'est parce qu'elle a changé de pièce (auquel cas un autre capteur s'est déjà déclenché trois secondes avant) ou parce qu'elle ne bouge plus (auquel cas l'agent de suivi n'aurait pas reçu d'autres événements et donc n'aurait pas bougé). Un tel événement ne serait qu'un poids à traiter sans apporter aucune connaissance.

Bien que sa présence ne soit pas théoriquement nécessaire pour le fonctionnement des autres agents, c'est néanmoins un agent central puisqu'il renseigne le reste du système sur les perceptions des perturbations physiques dans l'appartement. Il est tout à fait possible et même conseillé de doubler son existence afin de pallier sa mort éventuelle. Les autres agents consultent les pages jaunes et se connectent à l'agent de données le plus rapide qu'ils trouvent.

4.4.3 Les agents de ressources

Les agents de ressources ont pour rôle de renseigner et de mettre à jour les différentes ressources du système. Ils fonctionnent tous sur le même principe : ils allient les capacités de téléchargement, déchiffrement, mise à jour et téléversement des ressources, aux comportements d'attente de requête et d'envoi des renseignements demandés. Un premier comportement dès leur création télécharge la ressource XML depuis un serveur de fichiers, reconstruit par introspection les objets correspondants et s'enregistre auprès des pages jaunes de JADE comme « ressource-agent » en précisant le type de ressources dont ils disposent.

Un agent de ressource particulier gère les profils. Son rôle est de télécharger les profils connus et de renseigner les agents qui en font la demande. Ces demandes peuvent être partielles (priorité d'une tâche pour une personne) ou complète pour l'obtention de tout le profil. L'agent reste en attente d'une mise à jour voire d'une création de profil supplémentaire. Il est également responsable de la persistance des

profils, garantissant une sauvegarde même en cas d'arrêt imprévu du système (panne de courant par exemple).

D'autres agents ont des fonctionnements similaires pour la gestion des ressources graphiques (plan de l'appartement), des messages d'assistance à différents niveaux ainsi que des descriptions des appareils présents et disponibles dans l'habitat.

4.4.4 L'agent personnel

L'agent personnel a pour mission de localiser les perturbations de l'environnement en jouant le rôle de « Context Mgr » (un des rôles spécifiant « Angel »). Il joue également le rôle de « People Mgr » qui lui donne la mission d'associer un suivi de perturbation à une identité de personne et donc à un profil particulier. Enfin, il joue aussi le rôle de « DL Assistant » qui lui donne la mission d'organiser la personnalisation de l'environnement et l'assistance de la personne qu'il suit. Ces trois rôles sont séparables, mais dans l'implémentation, il a été jugé plus propice de les garder ensemble afin de diminuer les communications réseaux qui découlent de leur coopération constante.

Lors de sa création, l'agent reçoit en argument l'événement sur déclenchement duquel il a été chargé, les propriétés utiles pour l'initialisation du filtre à particules et optionnellement la plateforme sur laquelle il doit se déployer. Il initialise alors le filtre à particules avec l'événement de sa création, s'abonne auprès de l'agent de données pour recevoir tous les événements depuis ce dernier, puis s'enregistre auprès des pages jaunes comme agent personnel de localisation en mentionnant sa localisation qu'il mettra à jour à chaque mouvement de la personne suivie. Cet enregistrement permet aux agents de monitoring de présenter une vue en temps réel des positions des personnes dans l'appartement.

En tant que « People Mgr », l'agent personnel analyse le contexte pour découvrir quelle personne il représente. Cette analyse peut être simple si l'agent reçoit cette

information dès sa création, lorsque c'est une certitude. Si l'agent ne possède pas cette information, il doit l'inférer à partir d'une analyse des habitudes des personnes renseignée par l'agent de profil. Jouant le rôle de « DL Assistant », il contacte de toutes façons l'agent de profil afin d'obtenir le profil complet de la personne qu'il suit.

Différents comportements lui assurent la réception et le traitement des perceptions de l'environnement, la mise à jour de sa position déclarée et la mise à jour de son profil. Sur réception d'un nouvel événement, l'agent le place dans la file de traitement afin de conserver l'ordre d'arrivée. Un traitement préliminaire par le filtre à particules détermine son intention (prendre en charge l'événement, envoyer un clone à l'endroit de l'événement ou l'ignorer) et il communique cette intention aux autres agents personnels. Une fois toutes les intentions reçues, l'agent négocie avec ses pairs pour qu'un agent prioritaire soit élu (par exemple le plus proche de l'événement) et puisse mettre son intention à exécution.

Si l'agent n'est pas l'élu, il ignore l'événement, annule les modifications au filtre de particules et lance le traitement de l'événement suivant s'il y en a un. Si l'agent est élu et qu'il a choisi de prendre en charge l'événement, il termine le calcul du filtre bayésien qui lui permet de mettre à jour sa nouvelle localisation dans le plan. Dans le cas d'un clonage, l'agent demande à l'agent de données de lancer la création d'un nouvel agent personnel à l'emplacement de l'événement traité. Il annule ensuite les modifications comme s'il ignorait l'événement. De nombreux comportements secondaires assurent la synchronisation des agents personnels entre eux afin de refléter au mieux la réalité. Un patron de conception « *State/Strategy* » est utilisé pour modéliser les traitements successifs de cet agent. Les états de l'agents sont l'initialisation (analyse de l'événement), le traitement (calcul de la nouvelle position potentielle puis envoi du message d'intention), la négociation (réception des messages d'intention des autres agents personnels et comparaison) puis l'action (ignorer l'événement si il n'est pas le plus proche, traiter l'événement sinon).

Les missions du rôle de « People Mgr » permettent à l'agent de vérifier la cohérence d'identification dans le suivi de la personne. Dans un cas d'ambiguïté (lorsque deux agents partagent la même surface des possibles), l'agent prévoit la possibilité pondérée d'une probabilité de correspondance pour qu'il représente l'une ou l'autre personne. Il garde ce flou tant qu'il n'a pas de confirmation certaine sur l'identité de la personne.

Les missions du rôle de « DL Assistant » prennent en charge les décisions de personnalisation de l'environnement et d'assistance. Après chaque mouvement de personne associé à l'agent, celui-ci déclenche un comportement d'appel à la personnalisation. Cet appel est envoyé aux agents d'environnement de l'aire d'activité dans laquelle la personne suivie se trouve, avec les parties du profil pertinentes à cette aire. Ces agents d'environnement se chargent de mettre en place les agents d'assistance nécessaires. Un message de remerciement est également lancé pour les agents d'environnement de l'aire que la personne quitte, afin de les libérer de leur attention. Les aires d'activité correspondent dans le laboratoire DOMUS aux pièces (chambre, salle-de-bain, cuisine, salon, salle-à-manger, entrée) de l'appartement mais elles peuvent être redéfinies dynamiquement. Un dernier comportement attend une mise à jour du profil éventuelle dans le cas d'un changement dû à l'assistance ou à la personnalisation. Une interface graphique pour l'agent permet également d'opérer humainement des changements au profil et à sa migration physique.

4.4.5 Les agents d'environnement

Les agents d'environnement sont des agents légers qui s'occupent chacun de la gestion d'un appareil effecteur dans une aire d'activité. Ils se configurent au moyen des agents de ressources et s'enregistrent auprès des pages jaunes comme « environnement-agent-xxxx » avec xxxx représentant l'aire d'activité dans laquelle ils sont. Un exemple est un agent qui gère les conflits d'accès de plusieurs agents personnels pour le plafonnier du salon. En recevant la partie pertinente (les préférences en matière

d'éclairage) du profil d'une personne entrant dans le salon, le comportement d'adaptation de l'agent vérifie les conflits (désirs et utilisations des autres personnes éventuellement présentes dans le salon) et effectue les modifications pour réaliser la personnalisation de l'environnement qui lui est confiée.

Les agents d'environnement qui sont associés à des appareils d'interaction (combiné de microphones et de hauts-parleurs ou écrans tactiles) peuvent, en plus, aider à la réalisation de la mission d'assister la personne. Ils communiquent ainsi avec les agents d'assistance qui existent et leur transmettent les informations de profil de la personne qui concernent l'assistance des tâches locales. Sur réception d'un message de remerciement de l'agent personnel qui quitte l'aire d'activité, l'agent transmet cette information aux agents d'assistance pour leur signaler le départ de la personne. Ceux-ci décident alors quelle conduite adopter.

Les agents d'environnement ne sont pas forcément déployés localement près de leur appareil, puisque certains dispositifs comme les plafonniers ne possèdent pas de puissance de calculs attribuée et sont commandés par le réseau. Ces agents peuvent alors se situer sur n'importe quelle plateforme compatible du système.

4.4.6 L'agent d'assistance

L'agent d'assistance joue le rôle d' « AssistTask » et peut être créé à tout moment selon une configuration donnée par un agent de ressources qui indique les niveaux et les messages d'assistance disponibles pour les effecteurs pris en charge. Un agent d'assistance graphique peut par exemple posséder plusieurs niveaux de messages textes pour assister la réalisation d'une tâche. Un autre peut posséder plusieurs manières de présenter l'information, à différents degrés de complexité. Un agent sonore peut être configuré avec plusieurs messages audio d'assistance, avec différentes voix utilisées et différents détails mentionnés ; il peut par ailleurs régler le volume selon les préférences de la personne. Toutes les tâches assistées par les agents possèdent de plus un niveau

d'influence sur la vie privée. L'agent se base sur ce niveau pour décider si le contexte lui permet d'être affiché.

Lors de sa création, un agent d'assistance initialise les niveaux de l'assistance qu'il peut fournir pour une tâche puis s'enregistre auprès des pages jaunes comme « assist-agent-yyyy » avec yyyy représentant l'identifiant de la tâche qu'il peut assister. Il se déploie sur la plateforme la plus appropriée ou sur la plateforme mentionnée par les informations de l'agent de ressources.

L'agent d'assistance est alors prêt à recevoir une demande d'assistance pondérée par un niveau pour une personne. Il propose alors l'assistance demandée et se tient prêt à modifier ce niveau sur demande. Si cette demande a lieu, il assiste la personne au niveau supérieur et signale à l'agent personnel responsable le changement effectué au profil.

Il propose également un moyen pour la personne de signaler une erreur d'identification. Sur réception de ce signal, l'agent contacte l'agent personnel responsable pour lui indiquer le problème. L'agent personnel intervertit alors les personnes confondues ou change leur identité le cas échéant, et l'agent d'assistance reçoit le bon profil de personne à assister.

Si l'agent doit assister plusieurs personnes pour la même tâche, il assistera prioritairement la personne ayant le plus haut niveau d'assistance requis. Les autres personnes y trouveront également leur compte. Dans le cas du départ de la personne assistée, l'agent réduit si besoin l'assistance pour correspondre au profil de la personne restante.

4.4.7 Les agents de monitoring

Les agents de monitoring sont des agents qui permettent une vue virtuelle de l'habitat et de ce qui s'y passe. Un agent de monitoring répertorie les agents personnels présents et leur localisation pour afficher sur un plan de l'appartement les personnes et l'endroit où elles sont détectées, ainsi que le dernier événement reçu.

Un agent de contrôle stocke et enregistre les informations de log de tous les autres agents. Cela permet un suivi et un déverminage plus aisé. Un autre agent permet de suivre les présences dans l'appartement et leur identité à des fins de contrôle de sécurité.

4.4.8 Le système en fonctionnement

Cette section présente le lancement et le déroulement de l'exécution du système ICEMAS utilisée pour jouer les scénarios. La classe d'exécution Java qui lui est associée propose également un exemple d'utilisation pour faciliter la réutilisation et la modification du système.

Le système multi-agents ICEMAS repose sur le *framework* JADE. Il est donc nécessaire de lancer un container JADE sur toutes les plateformes matérielles que l'on souhaite utiliser. Un container principal est lancé sur une machine dont on connaît l'adresse réseau, puis les autres containers sur les autres plateformes prévues. Un ensemble de bibliothèques de services, de capacités d'agents et de comportements a été préparé dans un fichier exécutable. Celui-ci lance automatiquement la plateforme JADE, se connecte au container principal au moyen de l'adresse renseignée dans un fichier de configuration puis lance un outil graphique de gestion du *framework*. Cet outil graphique est fourni par JADE et n'est pas nécessaire au fonctionnement mais utile pour la configuration initiale.

La démo peut alors être lancée. Elle crée tout d'abord un container de démo, se connecte au container principal puis charge les données de configuration éventuelles fournies pour la démonstration. Si ces données ne sont pas disponibles localement, elles seront téléchargées depuis un serveur de fichiers connu. Ces propriétés sont ensuite utilisées pour créer les premiers agents.

En suivant le fichier de configuration fourni, le programme lance alors les agents d'environnement et les agents d'assistance décrits puis les déploie sur les plateformes appropriées, ou sur le container principal en cas de doute. Des agents de monitoring graphique sont ensuite lancés sur tous les terminaux configurés, puis l'agent de données et les agents de ressources sont lancés à leur tour, par défaut sur le container principal.

Le système est alors fonctionnel et l'exécution de la démonstration peut être arrêtée sans nuire au système. Les agents de monitoring permettent la gestion des agents d'environnement et tous les agents disposent d'une interface graphique permettant d'ordonner leur migration. Les agents personnels sont lancés automatiquement par l'agent de données lorsque c'est pertinent. Ils sont lancés sur un container disposant d'une grande puissance de calcul lorsque c'est possible.

4.5 Conclusion

Ce chapitre a proposé la description de l'implémentation d'ICEMAS, un système multi-agents ayant pour but de personnaliser l'environnement et d'assister de manière transparente plusieurs personnes dans un habitat intelligent. On y a décrit le fonctionnement des processus de localisation et d'identification, puis les implémentations de profils et les gestions de conflits qui peuvent en découler. La spécification de l'organisation utilisée pour structurer et garantir les fonctionnalités du système multi-agents a été exposée. Une modification de cette organisation propose des pistes nouvelles de gestion de plusieurs personnes dans plusieurs espaces. Elle apporte aussi une mesure de contrôle et de gouvernance des agents externes au système. Cette solution permet leur intégration dans l'habitat et le partage mesuré des ressources disponibles. Enfin, on a présenté l'implémentation logicielle de ces modèles et de ces concepts dans la description des agents du système.

ICEMAS est une implémentation prévue pour prouver un concept : il est possible de personnaliser l'environnement et d'assister plusieurs personnes en même temps et de manière transparente grâce à un système multi-agents. Des limites matérielles et logicielles existent mais cette réalisation pose des jalons et ouvre encore plus de pistes de recherche. L'implémentation répond fonctionnellement aux attentes prévues par les problématiques au niveau de la transparence, de la personnalisation et de l'assistance. Le chapitre suivant présente les hypothèses formulées et les résultats obtenus lors de l'utilisation d'ICEMAS selon les scénarios proposés dans le Chapitre 3.

Chapitre 5 – Résultats et discussion

Ce chapitre présente les résultats des tests expérimentaux de l'implémentation présentée, fonctionnant selon les scénarios du Chapitre 3. La section 5.1 décrit les hypothèses effectuées sur le fonctionnement du système préalablement aux tests et les limites physiques connues. La section 5.2 expose les résultats sous la forme de description de déroulement pour chacun des scénarios. Une discussion de l'adéquation et des extensions logicielles possibles est donnée en 5.3 avant de récapituler les apports de cette thèse sur les plans scientifiques (5.4) et humains (5.5).

5.1 Hypothèses et limites

Les hypothèses formulées avant les tests expérimentaux mettant en scène les scénarios proposés dans le Chapitre 3 concernent l'adéquation du fonctionnement du système ICEMAS dans différentes circonstances. La première hypothèse donnée est que le système de localisation d'ICEMAS fonctionne au moins aussi bien que le précédent système « Dynamo » sur lequel il est fondé. L'initialisation du filtre bayésien dans « Dynamo » se fait avec mille particules.

Hypothèse 1 :

Le fonctionnement d'ICEMAS avec une seule personne et mille particules fournit une localisation avec la même précision que « Dynamo ».

Une limite prévisible du système est l'augmentation notable du besoin de puissance de calcul pour localiser plusieurs personnes. Il est possible de réduire le nombre de particules par filtre, mais ceux-ci sont alors moins efficaces. En gardant le même nombre de particules, la gestion et le traitement des événements sont ralentis. Dans un cas de grande activité (beaucoup de déclenchements de capteurs en peu de temps), les agents peuvent donner leur localisation avec du retard si leur puissance de calcul est trop faible. On a pu observer des retards de trente secondes sur un scénario de trois minutes. Cette information étant la base du reste du système, tous les traitements d'assistance et de personnalisation qui en dépendent sont à leur tour retardés. En répartissant les agents personnels sur plusieurs cœurs d'un ordinateur multiprocesseurs, on peut réduire la possibilité d'engorgement.

Hypothèse 2 :

Le système ICEMAS peut détecter, suivre deux personnes dans l'appartement, personnaliser l'environnement pour chacune d'elle et les assister si besoin avec un taux minimal d'erreurs.

Lorsque ces deux personnes partagent la même aire d'activité, un doute raisonnable est mis sur leur identification. Celui-ci subsiste jusqu'à la détection d'une action particulière qui lève l'ambiguïté ou jusqu'à la signalisation explicite par un agent d'assistance.

Hypothèse 3 :

Le système ICEMAS peut opérer la gestion de plus de deux personnes sans mettre en péril son fonctionnement, en personnalisant l'environnement et en assistant chacune des personnes selon son profil.

L'aspect le plus important dans cette hypothèse est le fait que le système reste fonctionnel et qu'en cas d'assistance urgente, l'identification des personnes est secondaire. Si les brûleurs de la cuisine menacent de déclencher un incendie, le système peut toujours les éteindre sans se soucier de savoir qui est où.

Les deux hypothèses suivantes sont en relation avec la transparence et la personnalisation de l'environnement. On souhaite garantir l'hypothèse 4 même si l'identification ne fonctionne pas :

Hypothèse 4 :

Les personnes sont toujours assistées pour les tâches prévues dans leur profil.

Cela permet de maintenir une qualité minimum de service et de démontrer la transparence du système : aucune action des résidents n'est nécessaire.

Hypothèse 5 :

La vie privée est respectée par le système et, en cas de doute, le système ne prend pas de décisions d'affichage d'informations sensibles.

Cela implique que toute assistance d'activité posant un doute sur le respect de la vie privée demande une confirmation humaine avant de contribuer à sa réalisation et arrête l'exécution en cas de modification du contexte.

5.2 Tests des scénarios

Cette section présente les tests effectués sur le fonctionnement d'ICEMAS en jouant les scénarios proposés. ICEMAS étant une preuve de concept, quelques tests avec différentes personnes ont été effectués pour chaque scénario. On ne présume toutefois pas d'une évaluation complète et statistique du système. Les sous-sections suivantes décrivent les résultats des tests suivant les scénarios qui mettent en valeur la gestion d'une personne et de plusieurs activités (5.2.1), la gestion de la vie privée avec plusieurs visiteurs (5.2.2), la gestion rapide de la personnalisation (5.2.3), la cohabitation de deux résidents et les conflits échéants (5.2.4) et enfin l'entrée dans l'habitat d'une personne provenant d'un autre appartement intelligent (5.2.5). On présente pour chaque scénario un rappel de sa description, le déroulement du scénario pour le système et les erreurs potentielles survenues.

5.2.1 Un résident et plusieurs activités

Ce scénario met en évidence la gestion des activités pour une personne, sa bonne localisation et l'inférence du contexte ainsi que l'assistance échéante. Dans cette suite d'activités, René est seul et effectue des gestes de la vie quotidienne. Le scénario, que présente la section 3.1.4.1 montre le suivi d'une personne pendant sa routine matinale et la gestion d'une ou plusieurs sous-activités simultanément avec un premier conflit simple : la TV est préalablement utilisée, et elle doit en plus afficher des informations contextuelles pour l'activité « Téléphone ».

Le système part d'un état intermédiaire puisqu'il sait que René est dans la chambre, dans son lit. L'agent personnel détecte et suit le lever de René et éclaire la chambre tel que prévu. L'agent personnel de René déclenche les actions de personnalisation de l'environnement et d'assistance dans toutes les pièces successives où René se déplace (chambre, salle de bain et cuisine). Les lumières s'éteignent dans les pièces quittées depuis plus de 2 minutes. Cette temporisation permet d'éviter un effet de clignotement lorsqu'on passe d'une pièce à l'autre.

La détection de l'horaire et de la présence de René dans la cuisine déclenche comme prévue l'assistance de la préparation du café sur l'écran le plus proche. L'allumage de la TV est déclenché par une tâche d'assistance (selon le profil de René) du fait de sa position suivie et détectée au salon. Le fauteuil ne possédant pas de capteur de pression, la localisation de René n'est pas parfaite mais suffit aux besoins du système.

Lorsque la tâche d'assistance de l'appel téléphonique entrant se déclenche et requiert l'utilisation de l'écran du salon, la négociation des agents aboutit et l'agent responsable de l'activité « regarder la TV » baisse le son quand il détecte un mouvement qui indique que René va répondre au téléphone. Il laisse ensuite la place à l'agent d'assistance téléphonique qui affiche les informations pertinentes et l'agenda de René. Lorsque René raccroche, l'agent d'assistance téléphonique libère les ressources et le signale à son environnement. L'agent de TV reprend la priorité et remet le son à son niveau antérieur.

René retourne dans la cuisine pour y ranger sa tasse. Comme l'activité de prendre son café n'a pas été confirmée terminée, l'agent d'assistance propose toujours l'aide fonctionnelle graphique. René n'en a pas besoin, range sa tasse dans le lave-vaisselle et retourne au salon. L'agent d'assistance de l'activité « café » se termine alors. Arrivé au salon, René éteint manuellement la TV et retourne s'asseoir dans son fauteuil pour lire son journal selon son habitude. Son agent personnel personnalise son environnement et le salon s'éclaire en conséquence.

Ce scénario s'est déroulé comme prévu et le système ICEMAS a adapté son comportement de la manière attendue, pour chaque déroulement du scénario avec des personnes différentes.

5.2.2 Un résident avec plusieurs visiteurs et gestion de la vie privée

Certaines données consultables dans l’HIS sont confidentielles. Lors de la visite du médecin (Mehdi) par exemple, l’environnement doit permettre l’affichage du dossier médical sur demande car Mehdi et René sont deux personnes autorisées dans ce contexte. L’arrivée d’une troisième personne qui ne dispose pas de cette autorisation dans la même pièce modifie ce contexte. Le dossier médical ne doit plus être visible.

Le scénario joué dans cette section montre René durant la visite du médecin (Mehdi) avec l’arrivée ultérieure de l’aidante (Aïdi). Il présente l’assistance profilée ainsi que la personnalisation de l’environnement selon les personnes présentes. Le système part de nouveau d’un état intermédiaire puisqu’il sait que René est dans le salon. L’action peut se dérouler à la suite du scénario précédent.

Sur détection du badge de Mehdi, l’agent de données décide de créer un nouvel agent personnel à l’entrée. Mehdi étant connu, il possède déjà un profil qui lui est associé. L’action de René d’aller ouvrir la porte est détectée et suivie. Deux personnes sont donc maintenant détectées dans l’entrée (Mehdi et René). Elles passent au salon, mais ce déplacement laisse invariablement une des deux personnes dans l’entrée du point de vue du système, qui ne fait pas la différence entre le déplacement d’une ou de deux personnes en même temps dans la même direction.

Sur demande explicite, l’agent d’assistance associé à l’affichage du dossier médical autorise son exécution avec le profil donné (une seule personne dans le salon, René ou Mehdi, tous deux autorisés à consulter ce dossier). René propose un café à Mehdi et lui demande d’aller se servir. Selon les cas (René ou Mehdi dans le salon et l’autre dans l’entrée), la personne détectée dans le salon est ensuite suivie dans la cuisine, et celle dans l’entrée est alors située dans le salon. Le dossier médical reste affiché car toutes les personnes présentes sont autorisées.

Si René est détecté dans la cuisine, Mehdi signale à l’agent d’assistance son erreur et les agents personnels s’échangent mutuellement pour rétablir la

correspondance avec la réalité. La personne maintenant identifiée au salon étant également autorisée, le dossier médical est maintenu. Si la détection est correcte, le doute est diminué puisque les agents d'assistance n'ont pas signalé d'erreur d'identification.

Mehdi revient dans le salon et les deux personnes sont bien suivies virtuellement. L'affichage de l'agent d'assistance pour l'utilisation du téléphone s'exécute pour René, puisqu'il est la personne avec le niveau le plus élevé d'assistance requise.

Lorsque la présence d'Aïdi est détectée (de la même manière que pour Mehdi), un agent personnel qui lui correspond est créé dans le système. Le contexte de l'agent d'assistance du dossier médical change et il masque les informations dont le niveau de sécurité est supérieur à l'autorisation d'Aïdi.

Le suivi pour trois personnes réunies dans le salon n'est pas optimal et la personne détectée comme allant dans la cuisine est trop souvent aléatoire. Un signalement à l'agent d'assistance pour l'inventaire du frigo règle le problème.

Mehdi sort de l'appartement et son agent personnel sauvegarde les données nécessaires avant de terminer son exécution. Le système suit les déplacements d'Aïdi sans problèmes et personnalise son environnement (allume toutes les lumières) pour son activité de rangement jusqu'à son départ. L'environnement revient ensuite aux préférences de René.

5.2.3 Entrée d'un résident, visite de l'infirmière et personnalisation

L'entrée d'un résident dans l'HIS est une étape importante pour son bien-être. Lors de son retour à la maison, René doit se sentir chez lui. Selon les personnes, cela pourra correspondre à un accueil vocal, lumineux ou même à une absence de réactions. Le scénario joué (voir 3.1.4.3) dans cette section met en valeur les interactions entre un

résident et une infirmière et la gestion de l'emploi du temps et des tâches du résident. Il met en évidence la réaction du système face à des changements d'actions et de lieux rapides.

Au démarrage du scénario, le système et son organisation locale sont déployés. Aucune organisation personnelle n'est présente. Lorsque René rentre, l'agent de données détecte son arrivée, lance son agent personnel qui télécharge son profil et personnalise l'arrivée en diffusant un message de bienvenue et en allumant les lumières. L'agent suit et personnalise l'environnement de René comme prévu dans ses déplacements et ses activités sans rencontrer aucun conflit.

Un agent d'assistance affiche les rendez-vous sur détection de l'appel téléphonique. Le rendez-vous modifié à distance est pris en compte localement. Lors de l'arrivée d'Ingrid (infirmière), un agent de personnalisation affiche pour René un rappel de son rendez-vous et l'identité probable du visiteur. Un agent personnel est créé pour Ingrid dès son entrée dans l'appartement.

Un agent d'assistance pour Ingrid affiche le résumé des exercices disponibles. Ingrid guide René dans ses mouvements et note au moyen de l'agent d'assistance les progrès et les difficultés de son patient. Ces données sont sauvegardées dans le profil de l'agent d'assistance pour permettre leur consultation ultérieure par le personnel autorisé.

René va aux toilettes et son agent personnel le suit. Des erreurs d'identification éventuelles sont corrigées par Ingrid qui signale à l'agent d'assistance sa présence au salon. Ingrid interagit ensuite avec l'agent pour consulter son historique.

Le départ d'Ingrid se fait avec la sauvegarde de son profil comme prévu dans le scénario. L'agent de René le suit et l'assiste dans le reste de ses activités de la journée.

5.2.4 Cohabitation de deux résidents et gestion de conflits

Le scénario décrit dans la section 3.1.4.4 met en scène les interactions entre deux résidents. Le couple formé par Jeanne et René dîne et commence une activité commune (visionnement d'un DVD). René se lasse et ouvre un livre. Le système doit déterminer une solution acceptable qui va permettre aux deux résidents de même priorité de mener à bien leur activité respective.

Ce déroulement de scénario commence de nouveau depuis un état intermédiaire, où René est déjà présent dans l'appartement. Sa présence dans la cuisine peu avant l'heure du repas déclenche l'affichage d'un agent d'assistance pour la préparation du repas. René interagit avec l'agent pour mener à bien son activité.

L'arrivée de Jeanne déclenche le lancement de son propre agent personnel (avec son profil) et les actions de personnalisation qui lui sont associées. René continue son activité dans la cuisine tandis que Jeanne met la table dans la salle à manger. Le repas est suivi normalement, mais des erreurs aléatoires d'identification ont lieu lors du débarrassage de la table. Le système n'est pas capable d'identifier la personne qui débarrasse, encore moins si les deux contribuent à la tâche. Toutefois, aucune assistance n'est nécessaire pour cette activité et cette incertitude ne pose pas de problèmes.

Un rappel de prise de médicaments apparaît lorsque René est détecté à la cuisine. René ne l'aperçoit pas et ce message est réaffiché au salon lorsque René s'y installe. René va alors prendre ses médicaments et le rappel disparaît. Lors du lancement du DVD, l'agent personnel de Jeanne, en accord avec celui de René qui participe à l'activité, baisse le niveau lumineux du salon pour améliorer le confort de visionnement.

Lorsque René se lève au milieu du film, son agent personnel détecte qu'il ne prend plus part à l'activité et, connaissant les habitudes de René, en déduit qu'il va

s'installer pour lire. Le retour de René dans son fauteuil lance donc une négociation entre les agents personnels de Jeanne et de René pour trouver un accord acceptable. L'agent de René envoie les possibilités d'éclairage pour René à l'agent de Jeanne, qui choisit le moins élevé du point de vue de Jeanne. Cette solution est l'allumage d'un luminaire libre proche de René. Les deux personnes disposent alors du plus grand confort possible en respectant celui de l'autre. Des erreurs d'identification ont parfois détecté le mouvement de Jeanne à la place de celui de René. La négociation qui s'en suivait arrivait toutefois à la même conclusion finale.

René achève son activité et va se brosser les dents. Dans le cas d'erreurs d'identification à l'activité précédente, René a dû signaler son identité à l'agent d'assistance de la cuisine qui lui rappelait de boire un verre d'eau pour une bonne hydratation. Le suivi continu de René dans sa routine du coucher se fait sans problèmes. Le suivi unique de Jeanne par après ne pose aucun souci non plus.

5.2.5 Changement d'espace pour un résident

Le scénario joué dans cette section (voir 3.1.4.5) décrit le changement d'espace intelligent et un exemple de conflit de personnalisation. L'état initial projette Victor dans son appartement où règne une certaine fraîcheur appréciée par son résident. Bien au chaud dans son propre appartement, René prépare un repas et téléphone à son voisin Victor pour l'inviter à souper. Victor accepte et raccroche.

Comme nous ne disposons que d'un appartement intelligent, on simule la transmission de l'agent personnel de Victor de son habitat originel à celui de René.

Lorsque le scénario commence, l'agent personnel de Victor détecte sa sortie de l'appartement. L'agent commande sa sérialisation et sa sauvegarde sur le terminal mobile de Victor. Lors de l'arrivée de Victor dans l'appartement de René, l'agent embarqué sur le terminal mobile communique avec l'organisation locale (par le biais de

l'agent de données) et obtient la permission de migrer sur une puissance de calcul disponible. L'agent personnel de Victor se déploie alors aux côtés de celui de René.

Arrivés dans le salon, Victor et René discutent. L'agent personnel de Victor négocie avec celui de René pour baisser le chauffage (en simulation seulement car nous n'avons pas le contrôle du chauffage). Le profil de René indiquant qu'il souffre facilement du froid, l'agent personnel de René refuse et garde la priorité car Victor n'est qu'un visiteur.

René allume la TV pour regarder les informations et Victor s'assoit à son tour. L'agent personnel de Victor souhaite afficher un rappel de prise de médicaments, mais la TV est déjà occupée par une activité lancée par René. L'agent personnel négocie avec l'agent d'environnement responsable de la TV pour faire valoir la priorité d'assistance médicale. L'agent de la TV accepte et un message est affiché en surimpression sur la TV.

5.3 Discussion et améliorations

Les résultats présentés confirment dans la pratique la première hypothèse. **La détection et le suivi d'une personne dans l'habitat fonctionnent aussi bien qu'en utilisant le système précédent mono-personne « Dynamo »** fondé également sur les filtres à particules. Ce dernier avait été testé dans une suite d'expérimentations officielles réunissant beaucoup de sujets et de nombreuses activités mais ne mettant en scène qu'une seule personne à la fois. Les résultats de ces tests garantissaient un degré suffisant de certitude de présence de la personne dans la pièce détectée. Comme le principe de localisation utilise le même algorithme, la localisation bas-niveau des perturbations dans l'environnement possède la même précision.

Le pourcentage de faux positifs dans le suivi d'une seule personne, c'est à dire la détection erronée d'une deuxième personne et par conséquent le clonage de l'agent personnel, est très faible. Ce genre d'erreur peut se produire si une personne se déplace très rapidement dans l'appartement. Dans ce cas précis, certains capteurs peuvent se déclencher avant d'autres et produire une incohérence qui provoque la création d'un autre agent personnel. C'est une situation très rare qui a pu être observée lors des tests de limites pendant le développement mais qui n'est jamais survenue au cours des tests de scénarios.

La deuxième hypothèse est partiellement confirmée car il est difficile de quantifier les erreurs possibles lors des croisements. Deux personnes peuvent être suivies dans l'appartement sans erreurs sauf si elles se croisent dans une aire d'activité. La rencontre de ces personnes entraîne une incertitude complète et une identification aléatoire. Le système de signalisation d'identité erronée par les utilisateurs humains permet de pallier ce déficit.

La troisième hypothèse est confirmée car la détection et le suivi de plus de trois personnes peuvent se faire dans l'HIS. L'identification est toutefois encore plus problématique que dans le cas de deux personnes, mais le système reste stable et les dangers restent détectables. Si les personnes complètent le processus d'identification en précisant leur identité aux agents d'assistance, le fonctionnement du système est en adéquation avec le résultat requis.

On ne peut pas confirmer la quatrième hypothèse sans les précisions d'identité que fournissent les personnes. Si les personnes signalent leur présence en cas d'erreur d'identification, elles seront toujours assistées pour les tâches prévues par leur profil. Comme on ne peut garantir la certitude de la position d'une personne X à tout moment, on ne peut garantir le fonctionnement du système qui repose sur cette prémisse.

Enfin, **la cinquième hypothèse est confirmée** puisque les principes de niveau de sécurité pour des informations et de niveau d'autorisation pour les personnes garantissent que le réaffichage de données sensibles ne se fera que sur ordre humain. Le système ne dévoilera donc pas de lui-même des informations privées en la présence de personnes non autorisées officiellement.

* * *

Pour garantir et confirmer les hypothèses qui ne le sont pas, des améliorations doivent être apportées dans le domaine du processus d'identification. Le choix de conception qui limite volontairement l'utilisation des capteurs identifiants et des caméras vidéo est le point de départ des difficultés rencontrées pour l'identification. C'est la source des seules différences entre les résultats et les hypothèses. Dans le cas présent, les agents d'assistance sont responsables de la désambiguïsation lorsque l'identification n'est pas concluante. Tout en restant cohérent avec ce choix de

recherche, il est possible de proposer des ajouts matériels qui pourront améliorer cette identification.

Atteindre une granularité plus fine des capteurs permettrait par exemple de suivre avec plus de précision les déplacements des personnes et donc de réduire les cas d'incertitudes d'identités. Toutefois des erreurs resteraient possibles et cette solution alourdirait encore le traitement des événements par les agents personnels. Une possibilité intermédiaire serait d'ajouter des capteurs à certains endroits problématiques dans l'environnement, comme dans le salon, sous les fauteuils et les chaises. Cela permettrait aussi d'éviter les erreurs de localisation du deuxième scénario où le système ne faisait pas la différence entre le déplacement d'une personne et celui de deux.

Une solution toutefois plus coûteuse est celle des dalles sensorielles. Ces dalles envoient des événements qui représentent la pression quantitative exercée sur leur surface. Certains modèles n'envoient qu'une seule donnée continue (la pression moyenne exercée, comme un pèse-personne), tandis que d'autres proposent d'inférer l'équivalent d'une empreinte de pression. À l'aide d'un apprentissage intelligent (avec des modèles de Markov par exemple), il serait possible d'identifier les personnes sans porter atteinte à leur vie privée. Un tel complément d'information disponible dans tout l'appartement lèverait la grande majorité des incertitudes du système.

Une autre limite du système repose sur l'heuristique des déplacements. La surface des possibles est prévue en partant du principe que les personnes peuvent se déplacer dans toutes les directions. Des résultats plus probants seraient obtenus en modélisant les obstacles de l'appartement, puis en calculant une heuristique de déplacement plus réaliste. En effet, se déplacer de cinquante centimètres en ligne droite sur le plan en traversant le mur qui sépare la salle de bain de la cuisine est actuellement concevable pour les agents. Avec une modélisation des murs, des tables et des chaises, cet agent devrait alors projeter un déplacement de la personne d'au moins quatre mètres pour passer par la porte et s'attendre au déclenchement de plusieurs capteurs intermédiaires. Il en conclurait ainsi un paradoxe puisque la distance parcourue est trop longue et que

les capteurs intermédiaires ne se sont pas déclenchés. Il lancerait alors la création d'un clone dans la cuisine.

* * *

Une solution est proposée pour les problématiques humaines et scientifiques données. C'est un système multi-agents qui offre un squelette d'organisation pour assister et personnaliser l'environnement pour plusieurs personnes à la fois. La transparence de ce système permet d'éviter des rejets de la technologie observés chez certaines personnes et garantit une utilisation facile par des néophytes de l'informatique.

La réponse d'ICEMAS correspond aux attentes prévues dans la problématique et confirme en grande partie les hypothèses formulées. Les erreurs possibles du système sont principalement liées à des considérations matérielles. L'amélioration de ces conditions (utilisation de dalles sensorielles par exemple), sans modification du système, permettrait d'être en adéquation parfaite avec les objectifs prévus.

Les sections suivantes proposent une description des apports que ce travail de recherche peut revendiquer sur le plan scientifique puis sur le plan humain.

5.4 Apports sur le plan scientifique

Cette section décrit les avancées scientifiques auxquelles ce projet de recherche contribue. Les appartements intelligents et l'intelligence ambiante sont des domaines en pleine expansion. De nombreuses technologies et des solutions logicielles pour l'assistance voient le jour afin de rendre toujours un peu plus intelligents les espaces dans lesquels nous nous déplaçons. Les apports de cette thèse pour les Habitats Intelligents pour la Santé sont décrits dans la section 5.4.1, avant de se concentrer sur les apports en terme de gestion de profils (5.4.2). Les travaux innovants dans les systèmes multi-agents seront abordés dans la section 5.4.3.

5.4.1 Apport pour les habitats intelligents

Les Habitats Intelligents pour la Santé sont une branche particulière des habitats intelligents, mais les solutions applicables dans le cadre des HIS sont utilisables dans tous les cas plus généraux. Les contraintes éthiques que nous avons prises en compte dans cette recherche ont restreint les fonctionnalités du système en raison du manque de fiabilité de l'identification. Sans ces restrictions, le fonctionnement se montrerait bien évidemment plus performant.

De nombreuses solutions technologiques d'assistance culinaire, d'assistance au déplacement ou d'assistance pour beaucoup d'autres activités de la vie quotidienne existent et sont développées pour maintenir ou enrichir le niveau de vie de personnes en perte d'autonomie. Ces solutions d'assistance, malgré toutes leurs performances, possèdent un grand inconvénient qui est le manque de suivi continu. En effet, une personne peut être assistée pour chacune de ses activités mais abandonnée dans l'intervalle de temps qui les sépare. ICEMAS propose un moyen de relier ces solutions technologiques en proposant un suivi permanent des personnes avec une

personnalisation de l'environnement et une assistance qui ne dépendent que des dispositifs matériels présents. Toutes les aides ponctuelles peuvent ainsi être mises en relation et les personnes peuvent être assurées d'un suivi sans interruption.

Les appartements intelligents sont encore un domaine jeune et la plupart des solutions sont conçues au préalable pour gérer une seule personne en leur sein. ICEMAS propose une gestion de multiples personnes simultanément qui peut fournir des informations aux autres solutions logicielles sur la localisation, l'identification et les préférences de toutes les personnes détectées dans l'habitat. La gestion de conflits intégrée dans ce système multi-agents propose une base solide et configurable pour toutes les solutions existantes et à venir.

5.4.2 Apport pour les profils multiples

Que ce soit pour la gestion des personnes ou des ressources, ICEMAS propose des concepts de profils et la gestion des conflits qui découlent de leur confrontation dans un même espace. Des solutions de profils matériels et de gestion d'accès concurrents existent déjà, mais la négociation ouverte des agents d'environnement propose des possibilités importantes de concessions et de partage. Les profils des agents d'environnement sont simples mais permettent pourtant de configurer dynamiquement les comportements souhaités des différents appareils présents dans un habitat. Les ajouts de médias d'interaction en sont simplifiés et leur intégration dans le système est immédiate.

Les profils associés aux agents d'assistance permettent eux aussi de configurer aisément les messages d'aide. La création d'un nouveau profil suffit à la mise en place d'un nouvel agent d'assistance pour une tâche de la vie quotidienne. Ces profils permettent également de faciliter le déploiement de ces agents. Les gestions de conflits de profils intégrées dans ICEMAS garantissent l'assistance la plus adaptée en fonction

des appareils disponibles dans l'environnement et proposent une gestion de priorités pour des tâches urgentes.

L'utilisation de profils pour des personnes n'est pas nouvelle, mais les profils associés aux personnes dans ICEMAS posent des jalons pour une vision avancée de l'intelligence ambiante. Le concept de profil personnel proposé est un recouplement léger de toutes les informations pertinentes aux personnes. La description abrégée de leur état physique par le biais de la vitesse de déplacement ou de leur handicap éventuel permet de les suivre et de les assister avec la meilleure rentabilité possible. Les informations de préférences peuvent adapter la personnalisation de l'environnement en assurant une transparence dans les actions. Ces informations pourraient en outre être mises à jour et apprises au moyen d'algorithmes d'apprentissage non supervisés pour faire correspondre encore plus les actions du système aux désirs non exprimés des résidents. Les informations d'assistance garantissent une aide adaptée sans excès et les processus de mise à jour les gardent au fait de la réalité. Les informations d'agenda sont un intermédiaire pratique entre un agenda complet muni de ses fonctionnalités détaillées et les besoins immédiats des personnes dans le déroulement de tâches de planification. Les profils des personnes proposés dans ICEMAS fournissent toute l'information utile pour une cohabitation efficace des Hommes et de la technologie.

La conjonction des différents profils disponibles dans ce système apporte la fluidité nécessaire au bon fonctionnement de la personnalisation de l'environnement et des diverses solutions d'assistance.

5.4.3 Apport pour les systèmes multi-agents

Le système multi-agents présenté dans ce travail de recherche comporte bon nombre d'agents hétérogènes. On y trouve des agents réactifs légers qui apparaissent et migrent rapidement dans l'environnement, des agents interactifs qui possèdent leur place bien déterminée, et des agents intelligents qui se montrent parfois gourmands en ressources calculatoires. Les interactions de ces agents sont nombreuses et différent

grandement les unes des autres. On y retrouve des protocoles très variés comme les requêtes simples, les requêtes négociées, les demandes de collaboration, les négociations d'action, les ordres, les concessions, les propositions et les propagations. La conception innovante de ce système apporte une autre démonstration de l'utilité des systèmes multi-agents.

La définition d'une spécification organisationnelle [Boissier et al., 2007] a été primordiale pour guider l'implémentation du système multi-agents. C'est donc un témoignage probant de l'utilité de cette spécification, ne serait-ce que comme outil de conception d'un système multi-agents. Le cas précis du domaine d'application a d'ailleurs pu apporter la notion de spécification d'interaction dans la modélisation du fonctionnement des agents. Cet ajout est venu compléter la définition structurelle, fonctionnelle et déontique qui décrivait jusqu'alors les organisations.

ICEMAS offre une preuve de concept dans laquelle on garantit certaines fonctionnalités. Celle-ci sont décrites dans la spécification fonctionnelle. L'implémentation d'agents suivant scrupuleusement ce modèle montre qu'une organisation bien spécifiée et bien respectée peut garantir un fonctionnement en adéquation avec les besoins exprimés. Bien que nous n'ayons pas appliqué de méthodes de vérification formelles, les vérifications proposées à la fin de la spécification apportent des confirmations rassurantes.

Ce système multi-agents organisé propose de plus un exemple concret et fonctionnel de gouvernance d'un habitat, de personnes et des interactions écheantes. C'est un apport non négligeable puisqu'il laisse un précédent de réussite et de soutien pour d'autres solutions multi-agents qui s'y concentreraient. L'imbrication d'organisations est un concept nouveau qui promet plus qu'un contrôle automatisé des agents externes. Ce concept représente un comportement réfléchi dans une organisation

et non des agents solitaires. Il se dégage de ce système un sentiment d'appartenance de l'espace à l'organisation locale. L'entrée d'un agent dans cette organisation revient donc à lui faire une place dans l'espace virtuel et à lui ouvrir les portes de l'habitat.

Les systèmes multi-agents sont souvent utilisés pour proposer des solutions complètes à divers problèmes parallèles. Le système multi-agents d'ICEMAS se destine à soutenir des solutions, à les relier et à leur permettre des fonctionnements en symbiose dans l'environnement physique.

* * *

Ce travail de recherche apporte des réponses à des problèmes de suivi continu dans les appartements intelligents. La conception de nombreux profils a permis de représenter l'information et les connaissances des appareils d'interaction, des modules d'assistance et des besoins des personnes. Ceci a facilité les traitements de conflits inévitables lors de la présence de multiples personnes dans un espace. Enfin, le système ICEMAS confirme l'efficacité des organisations pour gouverner et contrôler l'environnement d'un espace intelligent et prouve l'utilité des systèmes multi-agents pour supporter des solutions d'assistance et pour personnaliser un environnement afin de le rendre accueillant et respectueux des besoins de ses résidents.

5.5 Apports sur le plan humain

Cette section décrit les apports que ce projet de recherche peut fournir sur le plan humain. Les Habitats Intelligents pour la Santé sont des appartements, mais ce sont surtout les derniers refuges de personnes en perte d'autonomie qui souhaitent pouvoir garder une certaine indépendance. Le maintien à domicile représente un bien-être de première importance pour ces personnes. Elles peuvent se reposer sur des aidants et sur des technologies avancées, utiles aussi bien à elles qu'aux professionnels et aidants familiaux. Notre objectif est de faciliter la vie des personnes qui y vivent, mais aussi le travail des personnes qui leur permettent d'y rester. La section 5.5.1 présente l'intérêt de la transparence de l'assistance qu'ICEMAS cherche à atteindre et les bénéfiques qui peuvent en être tirés. Assister une personne seule est déjà une étape importante. L'assister en lui permettant de vivre une vie sociale normale est l'étape qui s'impose par la suite. La gestion de multiples personnes (5.5.2) est un premier pas dans cette direction. Une personne en perte d'autonomie ne peut bien sûr se contenter des technologies « intelligentes ». L'assister correctement, c'est aussi assister les aidants qui permettent son maintien à domicile (5.5.3).

5.5.1 La transparence de l'assistance

L'assistance pour une personne peut être considérée comme l'apport d'informations utiles et la préparation d'un contexte environnemental pour lui permettre de mener à bien son activité. Faire l'activité à sa place n'est pas une assistance réussie puisque la personne n'exercera aucun effort et, à terme, ses facultés physiques ou mentales s'étioleront. Une assistance adéquate devrait, selon nous, être une assistance suggestive et discrète. Le niveau des suggestions devrait être en fonction du besoin de chaque personne, pour ne pas trop assister mais apporter le minimum d'information nécessaire pour « débloquer » la personne. C'est en réalité un problème plus complexe, celui de la préconisation du niveau d'assistance. La facilité de

configuration des niveaux d'assistance dans les agents d'ICEMAS permet d'apporter ces informations utiles. De plus, la mémoire des agents, combinée à la demande explicite de l'utilisateur lorsque l'assistance est insuffisante, garantit une assistance adaptée et adéquate. Le système proposé peut être un outil puissant mais il doit y avoir un prescripteur tel un ergothérapeute afin de préparer cette configuration en évitant des usages inconsidérés qui pourraient déstabiliser la personne.

La préparation d'un contexte environnemental représente les attentions que l'on peut avoir à l'égard d'une personne chère, pour maximiser son confort et renforcer son sentiment de bien-être et de sécurité. Ainsi, régler le niveau de lumière pour éviter l'assombrissement inéluctable d'un appartement avec la venue de la nuit peut permettre de soulager les angoisses de fin de journée chez les personnes âgées atteintes de troubles cognitifs. ICEMAS permet, grâce aux agents personnels qui disposent du profil des personnes, de personnaliser leur environnement pour le rendre plus accueillant et éviter ce genre de complications psychologiques.

Enfin la transparence de l'assistance est aussi garantie par notre système en assurant que la personne n'a besoin d'aucune connaissance en informatique pour interagir avec les agents. Les médias de communication sont ceux que la personne accepte. Ils fournissent le minimum utile à la réalisation des tâches de sa vie quotidienne.

5.5.2 La gestion de multiples personnes

Cette étude tire son intérêt des problèmes posés par l'augmentation du nombre de personnes âgées dans nos sociétés occidentales. Cette population est confrontée souvent à la solitude, en plus des conséquences cognitives inhérentes à son vieillissement. Parallèlement, des personnes en perte d'autonomie sont souvent encouragées à vivre avec une autre personne, autant pour leur confort que pour leur sécurité. La plupart des technologies d'assistance dans les HIS sont mono-personne. Continuer dans cette direction risquerait d'arriver au non sens de pousser les utilisateurs à vivre seuls.

ICEMAS propose une solution de gestion de plusieurs personnes simultanément et ainsi apporte un progrès sensible par rapport aux solutions d'assistance préexistantes et leurs limites déjà signalées.

ICEMAS peut permettre à des personnes vivant en couple d'être assistées. Chaque personne peut recevoir de l'aide pour les tâches pour lesquelles elle éprouve des difficultés sans exclure l'aide du conjoint. Deux personnes en perte d'autonomie qui se soutiennent mutuellement peuvent maintenant recevoir une aide supplémentaire individualisée et vivre sans craintes, dans un environnement qui s'adapte au mieux de ses possibilités pour que leur vie soit plus douce.

Une personne en perte d'autonomie peut vivre avec un de ses enfants, son conjoint ou un autre parent sans vouloir dépendre en permanence de cette personne. ICEMAS contribue à regagner une indépendance partielle et soulage la sensation de peser sur son entourage. Il compense par la technologie les déficits liés aux troubles de la mémoire, de la planification, de l'attention ou de l'initiation.

Enfin notre système permet aux résidents d'un HIS de recevoir des invités, leur médecin, des aidants professionnels ou même d'autres personnes en perte d'autonomie sans craintes de dysfonctionnements. Des visiteurs le requérant pourraient être assistés dans la mesure où cette assistance n'est pas contraire à celle du résident. ICEMAS rassemble des technologies au service des personnes et propose d'organiser leurs efforts.

5.5.3 Les personnes et leur entourage

Les aidants, aussi bien professionnels que naturels, possèdent souvent un emploi du temps très chargé et doivent penser et organiser des détails de la vie de plusieurs personnes en parallèle. Soutien moral pour ces personnes dépendantes, ils sont aussi leur mémoire, leur agenda, leur intendant ... Aider les aidants, c'est aider les personnes. En permettant d'assister toute personne, qu'elle soit en perte d'autonomie

(pour les résidents) ou en situation d'épuisement (pour les aidants), ICEMAS veut pouvoir procurer l'organisation des outils de gestion et de collaboration dont les aidants pourraient avoir besoin. Que ce soit pour leur fournir la liste des courses, des rappels de ménage, la description de l'activité de leur charge ou simplement un journal de leur présence, le système peut personnaliser leur environnement et leur apporter de l'assistance pour ces tâches de leur vie quotidienne.

De la même manière, les ergothérapeutes, infirmières, médecins et prestataires de divers services à la personne peuvent être assistés selon leur profil afin de faciliter le regroupement des données qui leur permettent de faire un travail efficace. ICEMAS offre de supporter des outils automatisés de détection de symptômes, de suivi d'activité, de transmission de données d'un thérapeute à l'autre, de synchronisation d'agenda, de prise de rendez-vous ou de suivi d'intervention. Ce système propose ainsi de faciliter la tâche des intervenants extérieurs au HIS.

Le maintien à domicile des personnes est le résultat de multiples collaborations. ICEMAS s'efforce d'y participer discrètement en proposant un environnement plus accueillant et plus sécurisé pour les personnes, en leur offrant des moyens pour une meilleure vie sociale et en facilitant le travail des proches et des personnels aidants et soignants.

Chapitre 6 – Conclusion

Les Habitats Intelligents pour la Santé constituent un domaine intéressant et riche en pistes de recherche peu ou pas encore explorées. On s'est intéressé dans le cadre de ce projet de doctorat à la personnalisation de l'environnement et à l'assistance aux personnes dans le cas de multiples présences dans l'appartement. Cette approche se doit, pour être utile, d'être transparente et adaptable pour toute personne et tout type de dépendance.

Comme il a été décrit dans la problématique (Chapitre 1), le fil directeur de ce projet de thèse est le chaînage complet de l'assistance et de la personnalisation de l'environnement, allant de l'interprétation des événements déclenchés dans l'environnement (messages des divers capteurs) jusqu'aux résultats ultimes que sont l'assistance aux personnes et la personnalisation de l'environnement physique.

Des scénarios ont été définis et un état de l'art a été dressé pour chacun des domaines de ce projet. Les maillons de localisation multiple, d'identification des personnes et de gestion des profils des personnes et de résolution des conflits qui en résultent ont été mis en place. Pour faciliter la transparence et la complétude de cette chaîne de services, une spécification organisationnelle a été formalisée et a permis de structurer le système multi-agents.

Afin de répondre aux besoins de gouvernance et de contrôle de l'habitat pour les agents responsables de la personnalisation et de l'assistance, cette modélisation a été modifiée. Elle fait maintenant apparaître plusieurs organisations, locales pour les habitats, personnelles pour les humains, et relationnelles pour les interactions qui lient ces deux domaines.

ICEMAS est un système multi-agents qui répond aux objectifs fixés, propose un support pour des solutions d'assistance plus précises et s'adapte aux données brutes que l'environnement peut lui fournir. Dans le cadre de cette recherche, deux publications ont été présentées pour définir le contexte de la recherche [Giroux et al., 2008] et la spécification de l'organisation du système ICEMAS [Castebrunet et al., 2010].

Perspectives

Des prolongements à cette étude pourraient s'orienter dans diverses directions :

- Augmentation du nombre de capteurs et de leur granularité pour améliorer l'identification et la différenciation des personnes et ainsi enrichir la suite de la chaîne de personnalisation.
- Ajout de nouveaux types de capteurs anonymes, sources d'identification possible (dalles de pression par exemple).
- Élargissement du domaine des tâches assistées et des modifications physiques de l'environnement pour la personnalisation.
- Encapsulation des projets d'assistance existants pour les déclencher automatiquement.
- Séparation de la couche d'interaction JADE pour un système plus orienté service et mobilité.

En tant que projet de recherche, le système final défendu pour cette thèse est une preuve de concept proposant des solutions et une base modulaire facilement adaptable

pour d'autres tâches, d'autres personnalisations de l'environnement et des ajouts au profil des personnes. Des améliorations et des augmentations en terme de sécurité et de résistance aux erreurs sont dans le futur de ce projet de recherche.

Ce système multi-agents n'est pas destiné à rester uniquement au laboratoire DOMUS mais devrait également pouvoir s'adapter à tout type d'appartement intelligent. Il peut devenir intéressant de se servir du système pour déterminer l'adéquation de l'équipement de détection et éventuellement le diagnostic des points faibles de l'habitat. En effet, en situant les erreurs d'inférence les plus fréquentes, nous serions à même de mettre en évidence la partie de l'appartement où les informations sont insuffisantes. Selon les capteurs disponibles pour cette reconnaissance, il est fort probable que la précision de la localisation et le comptage des présences laissent à désirer. L'important sera alors de connaître la limite de fonctionnement du système et donc de savoir quand l'utiliser et quand ne pas lui faire confiance.

ICEMAS est un système multi-agents capable de personnaliser l'environnement et d'assister plusieurs personnes à la fois et de manière transparente dans un Habitat Intelligent pour la Santé.

Bibliographie

- Aggarwal, J.K. (2005). Human activity recognition. *1st International Conference on Pattern Recognition and Machine Intelligence, PReMI 2005* (p. 39), Dec 20-22 2005. Heidelberg, D-69121, Germany, Springer Verlag.
- Allart, B., Marhic, B., Delahoche, L., Remy-Neris, O. et Jolly-Desodt, A.M. (2008). Omnidirectional vision tacking system based on Kalman filtering and omniamshift. *BIODEVICES 2008 - 1st International Conference on Biomedical Electronics and Devices* (p. 9-16), Jan 28-31 2008. Setubal, 2910-595, Portugal, Inst. for Syst. and Technol. of Inf., Control and Commun. (INSTICC).
- Allen, B. (1996). Integrated approach to smart house technology for people with disabilities. *Medical engineering & physics*, vol. 18, n° 3, p. 203-206.
- An, K., Han, A., Song, L. et Lu, J. (2007). New autonomous navigation technique-the vision system with single camera. *MIPPR 2007: Medical Imaging, Parallel Processing of Images, and Optimization Techniques* (p. 67892-1), 12/01. USA, SPIE - The International Society for Optical Engineering.
- Andrich, R., Gower, V., Caracciolo, A., Del Zanna, G. et Di Rienzo, M. (2006). The DAT project: a smart home environment for people with disabilities. *Proceedings* (p. 492-9), Computers Helping People with Special Needs. 10th International Conference, ICCHP 2006, 11-13 July 2006. Berlin, Germany, Springer-Verlag.
- Arcelus, A., Jones, M.H., Goubran, R. et Knoefel, F. (2007). Integration of smart home technologies in a health monitoring system for the elderly. *21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops* (p. 6), 21-23 May 2007. Piscataway, NJ, USA, IEEE.
- Augusto, J.C. et Nugent, C.D. (2006). Smart homes can be smarter. *Designing Smart Homes. The Role of Artificial Intelligence* (p. 1-15). Berlin, Germany, Springer-Verlag.
- Bai, L., Tompkinson, W. et Wang, Y. (2005). Computer vision techniques for traffic flow computation. *Pattern Analysis and Applications*, vol. 7, n° 4, p. 365-72.

-
- Bai, Y. et Chen, L. (2006). Flexible spectrum allocation methods for wireless network providers. *2006 IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications* (p. 5), 11-14 Sept. 2006. Helsinki, Finland, IEEE.
- Balachandran, B.M. (2008). Developing intelligent agent applications with JADE and JESS. *12th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, KES 2008* (p. 236-244), Sep 3-5 2008. Heidelberg, D-69121, Germany, Springer Verlag.
- Barnes, N.M., Edwards, N.H., Rose, D.A.D. et Garner, P. (1998). Lifestyle monitoring-technology for supported independence. *Computing & Control Engineering Journal*, vol. 9, n° 4, p. 169-74.
- Barsamian, A., Berk, V.H. et Cybenko, G.V. (2006). Target tracking and localization using infrared video imagery. *Unattended Ground, Sea, and Air Sensor Technologies and Applications VIII* (p. 62310), Apr 17-20 2006. Bellingham WA, WA 98227-0010, United States, International Society for Optical Engineering.
- Bauchet, J., Vergnes, D., Giroux, S. et Pigot, H. (2006). A pervasive cognitive assistant for smart homes. *In International Conference on Aging, Disability and Independence (ICADI)*, page 228, St Petersburg, Florida.
- Boissier, O., Hubner, J.F. et Sichman, J.S. (2007). Organization oriented programming: From closed to open organizations. *Engineering Societies in the Agents World VII - 7th International Workshop, ESAW 2006, Revised Selected and Invited Papers* (p. 86-105), Dublin, Ireland, Sep 6-8 2006. Springer Verlag, Heidelberg, D-69121, Germany.
- Bose, R., King, J., Pickles, S., Elzabadani, H. et Helal, A. (2006). Building plug-and-play smart homes using the Atlas platform. *ICOST 2006 4th International Conference on Smart Homes and Health Telematics* (p. 265-72), Smart Homes and Beyond, 26-28 June 2006. Amsterdam, Netherlands, IOS Press.
- Bouchard, B., Bouzouane, A. et Giroux, S. (2006). A smart home agent for plan recognition. *Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS* (p. 320-322), May 8-12 2006. New York, NY 10036-5701, United States, Association for Computing Machinery.
- Bougant, F., Delmond, F. et Pageot-Millet, C. (2003). The user profile for the virtual home environment. *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, n° 1, p. 93-98.
- Boussemart, B. et Giroux, S. (2007). Tangible user interfaces for cognitive assistance. *Proceedings - 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops/Symposia, AINAW'07* (p. 852-857), Niagara Falls, ON, Canada, May 21-23 2007. Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, Piscataway, NJ 08855-1331, United States.

- Brumitt, B., Meyers, B., Krumm, J., Kern, A. et Shafer, S. (2000). EasyLiving: technologies for intelligent environments. *Second International Symposium, HUC 2000* (p. 12-29), Handheld and Ubiquitous Computing, 25-27 Sept. 2000. Berlin, Germany, Springer-Verlag.
- Carabelea, C. et Boissier, O. (2006). Coordinating Agents in Organizations Using Social Commitments. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 150, n° 3 SPEC. ISS., p. 73-91.
- Castebrunet, M., Boissier, O., Giroux, S. and Rialle, V., Organization Nesting in a Multi-agent Application for Ambient Intelligence, *Advances in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems (PAAMS)*, pp. 259-268, 2010.
- Charniak, E. et Goldman, R.P. (1993). Bayesian model of plan recognition. *Artificial Intelligence*, vol. 64, n° 1, p. 53-59.
- Couturier, P. (2006). Place des gérontechnologies dans la prise en charge du patient âgé. *La Revue francophone de gériatrie et de gérontologie*, 13(127):346–351.
- Das, S.K., Roy, N. et Roy, A. (2006). Context-aware resource management in multi-inhabitant smart homes: A framework based on Nash H-learning. *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 2, n° 4, p. 372-404.
- Debonneuil, M. (2010) L'économie quaternaire : une croissance durable à construire. Rapport remis à Mme Natalie Kosciusko-Morizet, secrétaire d'État chargée de la Prospective et du Développement de l'économie numérique (France).
- Delmas, P. et Lievin, M. (2002). From face features analysis to automatic lip reading. *ICARV 2002: The Seventh International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision* (p. 1421-5), 2-5 Dec. 2002. Singapore, Singapore, Nanyang Technological Univ.
- Demiris, G., Hensel, B.K., Skubic, M. et Rantz, M. (2008). Senior residents' perceived need of and preferences for "smart home" sensor technologies. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, vol. 24, n° 1, p. 120-124.
- Demongeot, J., Virone, G., Duchêne, F., Benchetrit, G., Hervé, T., Noury, N. et Rialle, V. (2002) Multi-sensors acquisition, data fusion, knowledge mining and alarm triggering in health smart homes for elderly people. *Comptes Rendus Biologies*, 325, 673-682 (2002).
- Evertsz, R., Fletcher, M., Jones, R., Jarvis, J., Brusey, J. et Dance, S. (2004). Implementing industrial multi-agent systems using JACK. *First International Workshop ProMAS 2003: Programming Multi-Agent Systems* (p. 18-48), Jul 15 2003. Heidelberg, D-69121, Germany, Springer Verlag.

- Ferber, J. (1995). *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective*. InterEditions édition, InterEditions,
- Fouquet Y., Vuillerme N., Demongeot J. Pervasive informatics and persistent actimetric information in health smart homes *7th International Conference On Smart homes and health Telematics ICOST 2009*, LNCS 5597, M. Mokhtari et al. (Eds.): Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Tours, France, pp. 108-116 (2009).
- Fouquet, Y., Franco, C., Demongeot, J., Villemazet, C., & Vuillerme, N., Telemonitoring of the elderly at home: Real-time pervasive follow-up of daily routine, automatic detection of outliers and drifts. In: *Mahmoud A. Al-Qutayri (Eds), Smart Home Systems*, (2010), ISBN 978-953-307-050-6, (2010) to appear.
- France Alzheimer (<http://www.francealzheimer.org>), 2010
- Franco, C., Villemazet, C., Rialle, V., Demongeot, J., & Vuillerme, N., Early detection of Alzheimer's disease methodology: How a smart dwelling may contribute? *Gerontechnology*, 9 (2010) 281; doi:10.4017/gt.2010.09.02.143.00.
- Ganna, M. et Horlait, E. (2003). Policy-based service provisioning and users management using mobile agents. *Proceedings* (p. 53-66), Mobile Agents for Telecommunication Applications. 5th International Workshop, MATA 2003, 8-10 Oct. 2003. Berlin, Germany, Springer-Verlag.
- Gechter, F., Chevrier, V. et Charpillet, F. (2006). A reactive agent-based problem-solving model: Application to localization and tracking. *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems*, vol. 1, n° 2, p. 189-222.
- Ghorayeb, A., Rialle, V., Coutaz, J. et Noury, N. (2006). Breaking through the walls of loneliness and isolation by means of videophony : An ubicomp orientation and a design process based on active participation of elderly people. St. Petersburg, FL, USA., February 1-4 2006.
- Giroux, S., Castebrunet, M., Gouin-Vallerand C., Abdulrazak B., Rialle V., A pervasive framework for multi-agent personalization in smart homes. *Communications of SIWN*, august 2008, vol. 5, pp. 57-61
- Giroux, S., Pigot, H., Mayers, A., Lefebvre, B., Rialle, V. et Noury, N. (2002). Smart house for frail and cognitive impaired elders. In *UbiCog '02 : First International Workshop on Ubiquitous Computing for Cognitive Aids*. Göteborg (Gothenburg) , Sweden.
- Giroux, S., Pigot, H., Moreau, J. et Savary, J. P. (2006). Distributed mobile services and interfaces for people suffering from cognitive deficits. In Ibrahim, I. K., éditeur : *Handbook of Research on Mobile Multimedia*, pages 544–554. Idea Group Publishing.

- Gleizes, M-P., Camps, V., Georgé, J-P., Glize, P. Conception de systèmes multi-agents à fonctionnalités émergentes. In *Génie Logiciel, GL & IS*, Meudon - France, Vol. 86, p. 8-13, Sept 2008.
- Gouin-Vallerand, C. et Giroux, S. (2007). Managing and deployment of applications with OSGi in the context of Smart Homes. *3rd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, WiMob 2007* (p. 439-464), White Plains, NY, United States, Oct 8-10 2007. Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, Piscataway, NJ 08855-1331, United States.
- Groppe, J. et Mueller, W. (2006). Profile management technology for smart customizations in private home applications. *16th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA 2005* (p. 226-230), Aug 22-26 2005. New York, NY 10016-5997, United States, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Gutknecht, O. et Ferber, J. (2001). The MadKit agent platform architecture. *Revised Papers* (p. 48-55), Infrastructure for Agents, Multi-Agent Systems, and Scalable Multi-Agent Systems. International Workshop on Infrastructure for Scalable Multi-Agent Systems, 3-7 June 2000. Berlin, Germany, Springer-Verlag.
- Hahnel, D., Burgard, W., Fox, D., Fishkin, K. et Philipose, M. (2004). Mapping and localization with RFID technology. *Proceedings - 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation; Proceedings- 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (p. 1015-1020), New Orleans, LA, United States, Apr 26-May 1 2004. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Piscataway, United States.
- Helal, S., Mann, W., El-Zabadani, H., King, J., Kaddoura, Y. et Jansen, E. (2005). The Gator Tech Smart House: a programmable pervasive space. *Computer*, vol. 38, n° 3, p. 50-60.
- Hodges, M.R. et Pollack, M.E. (2007). An 'object-use fingerprint': The use of electronic sensors for human identification. *9th International Conference on Ubiquitous Computing, UbiComp 2007* (p. 289-303), Sep 16-19 2007. Heidelberg, D-69121, Germany, Springer Verlag.
- Hofmann, C., Weigand, C. et Bernhard, J. (2006). Wireless medical sensor network with ZigBee [trademark]. *WSEAS Transactions on Communications*, vol. 5, n° 10, p. 1991-1994.
- Hong, S., Han, S. et Song, K. (2005). The extended PARLAY X for an adaptive context-aware personalized service in a ubiquitous computing environment. *EUC 2005 Workshops: UISW, NCUS, SecUbiq, USN, and TAUES* (p. 288-297), Dec 6-9 2005. Nagasaki, Japan, Springer Verlag, Heidelberg, D-69121, Germany.

- Hu, D.H. et Yang, Q. (2008). CIGAR: Concurrent and interleaving goal and activity recognition. *23rd AAAI Conference on Artificial Intelligence and the 20th Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, AAAI-08/IAAI-08* (p. 1363-1368), Jul 13-17 2008. Menlo Park, CA 94025-3496, United States, American Association for Artificial Intelligence.
- Hu, D., Hayden, C., Casey, M. et Burbar, Z. (2004). Stereo computer vision system for measuring movement of patient's head in PET scanning. *2004 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record* (p. 2864-7), 16-22 Oct. 2004. Piscataway, NJ, USA, IEEE.
- Hubner, J.F., Sichman, J.S. et Boissier, O. (2006). S-Moise⁺: A middleware for developing organised multi-agent systems. *AAMAS 2005 International Workshops on Agents, Norms and Institutions for Regulated Multi-Agent Systems, ANIREM 2005, and Org. in Multi-Agent Systems, OOP 2005* (p. 64-77), Utrecht, Netherlands, Jul 25-26 2005. Springer Verlag, Heidelberg, D-69121, Germany.
- Jain, G., Cook, D.J. et Jakkula, V. (2006). Monitoring health by detecting drifts and outliers for a smart environment inhabitant. *ICOST 2006 4th International Conference on Smart Homes and Health Telematics* (p. 114-21), Smart Homes and Beyond, 26-28 June 2006. Amsterdam, Netherlands, IOS Press.
- Jourdan, D.B., Deyst Jr., J.J., Win, M.Z. et Roy, N. (2005). Monte Carlo localization in dense multipath environments using UWB ranging. *ICU 2005: 2005 IEEE International Conference on Ultra-Wideband* (p. 314-319), Zurich, Switzerland, Sep 5-8 2005. Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, Piscataway, NJ 08855-1331, United States.
- Kautz, H.A. et Pednault, E.P.D. (1988). PLANNING AND PLAN RECOGNITION. *AT&T Technical Journal*, vol. 67, n° 1, p. 25-40.
- Kidd, C.D., Orr, R., Abowd, G.D., Atkeson, C.G., Essa, I.A., MacIntyre, B., Mynatt, E., Starner, T.E. et Newstetter, W. (1999). The Aware Home: a living laboratory for ubiquitous computing research. *Second International Workshop, CoBuild'99* (p. 191-8), Cooperative Buildings. Integrating Information, Organizations and Architecture, 1-2 Oct. 1999. Berlin, Germany, Springer-Verlag.
- Kim, M. et Kim, H. (2006). Behavior coordination mechanism for intelligent home. *5th IEEE/ACIS International Conference on Computer Information Science - In Conjunction with 1st IEEE/ ACIS International Workshop on Component-Based Software Engineering, Software Architecture and Reuse* (p. 6), 10-12 July 2006. Los Alamitos, CA, USA, IEEE Comput. Soc.
- Kinsella, K. et Velkoff, V. (2001). An aging world : 2001. u.s. census bureau, series p95/01-1. Rapport technique, U.S. Government Printing Office, Washington , DC.

- Lee, Y., Lee, D.G., Han, J. et Chung, K. (2007). Home network device authentication: device authentication framework and device certificate profile. *In 1st Workshop on Emerging Trends of Web Technologies and Applications, WebETrends 2007* (p. 573-582), Jun 16-18 2007. Heidelberg, D-69121, Germany, Springer Verlag.
- Liao, L., Fox, D. et Kautz, H. (2004). Learning and inferring transportation routines. *Proceedings - Nineteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2004): Sixteenth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference (IAAI-2004)* (p. 348-353), Jul 25-29 2004. Menlo Park, CA 94025-3496, United States, American Association for Artificial Intelligence.
- Ma, T., Yong-Deak Kim, Ma, Q., Tang, M. et Zhou, W. (2005). Context-aware implementation based on CBR for smart home. *IEEE WiMob 2005* (p. 112-15), 2005 IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 22-24 Aug. 2005. Piscataway, NJ, USA, IEEE.
- Mamei, M., Zambonelli, F. et Leonardi, L. (2003). Co-fields: Towards a unifying approach to the engineering of swarm intelligent systems. *Engineering Societies in the Agents World III; Third International Workshop, ESAW 2002* (p. 68-81), Madrid, Spain, Sep 16-17 2002. Springer Verlag, Heidelberg, Germany.
- Mihailidis, A., Fernie, G. et Barbenel, J.C. (2000). Using artificial intelligence to assist people with dementia to be more independent. *22nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (p. 2993-2996), Jul 23-28 2000. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Nakauchi, Y., Noguchi, K., Somwong, P., Matsubara, T. et Namatame, A. (2003). Vivid room: human intention detection and activity support environment for ubiquitous autonomy. *2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (p. 773-8), 27-31 Oct. 2003. Piscataway, NJ, USA, IEEE.
- National Institute on Aging, part of the U.S. National Institutes of Health (<http://www.nia.nih.gov/Alzheimers>), 2010
- Nambu, M., Nakajima, K., Kawarada, A. et Tamura, T. (2000). The automatic health monitoring system for home health care. *ITAB-ITIS 2000* (p. 79-82), Nov 9-10 2000.
- Noury, N. (2002). A smart sensor for the remote follow up of activity and fall detection of the elderly. *Proceedings* (p. 314-17), 2nd Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, 2-4 May 2002. Piscataway, NJ, USA, IEEE.

- Noury, N., Fleury, A., Rumeau, P., Bourke, A.K., Laighin, G.O., Rialle, V. et Lundy, J.E. (2007). Fall detection - Principles and methods. *29th Annual International Conference of IEEE-EMBS, Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC'07* (p. 1663-1666), Aug 23-26 2007. Piscataway, NJ 08855-1331, United States, Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society.
- Noury, N., Virone, G. et Creuzet, T. (2002). The health integrated smart home information system (HIS2): rules based system for the localization of a human. *Proceedings* (p. 318-21), 2nd Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, 2-4 May 2002. Piscataway, NJ, USA, IEEE.
- Noury, N., Villemazet, C., Barralon, P. et Rumeau, P. (2006). Ambient multi-perceptive system for residential health monitoring based on electronic mailings: Experimentation within the AILISA project. *HEALTHCOM 2006: Mobile E-Health for Developing Countries - 2006 8th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services* (p. 95-100), New Delhi, India, Aug 17-19 2006. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Piscataway, NJ 08855-1331, United States.
- Olmeda, D., Hilario, C., de la Escalera, A. et Armingol, J.M. (2008). Pedestrian detection and tracking based on far infrared visual information. *10th International Conference, ACIVS 2008* (p. 958-69), Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, 20-24 Oct. 2008. Berlin, Germany, Springer-Verlag.
- Park, I., Hyun, S.J., Lee, D. et Kim, S. (2004). Context-conflict management for context-aware applications in a shared pervasive computing environment. *Proceedings of the International Conference on Wireless Networks, ICWN'04* (p. 66-70), Jun 21-24 2004. Bogart, GA 30622, United States, CSREA Press.
- Patterson, D.J., Fox, D., Kautz, H. et Philipose, M. (2005). Fine-grained activity recognition by aggregating abstract object usage. *Proceedings - Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers, ISWC 2005* (p. 44-51), Osaka, Japan, Oct 18-21 2005. IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA 90720-1314, United States.
- Perkowitz, M., Philipose, M., Fishkin, K. et Patterson, D.J. (2004). Mining models of human activities from the web. *Thirteenth International World Wide Web Conference Proceedings, WWW2004* (p. 573-582), May 17-22 2004. New York, NY 10036-5701, United States, Association for Computing Machinery.
- Pigot, H., Bauchet, J. et Giroux, S. (2006). *Computing and Engineering Design and Applications*, chapitre Assistive Devices for People with Cognitive Impairments. In *Smart Technology for Aging, Disability and Independence (Volume II)*. Wiley and Sons, publishers.

- Pigot, H., Savary, J., J.L., M., Rochon, A. et Beaulieu, M. (2005). Advanced technology guidelines to fulfill the needs of the cognitively impaired population. In Giroux, S. et Pigot, H., éditeurs : *The 3rd International Conference On Smart homes and health Telematics*, pages 221–228. IOS Press.
- Pigot, H., Lefebvre, B., Meunier, J., Kerhervé, B., Mayers, A. et Giroux, S. (2003). The role of intelligent habitats in upholding elders in residence. In *5Th international Conference on Simulations in Biomedicine*, pages 497–506.
- Plan Alzheimer 2008-2012 (mesure n°7), Amélioration du soutien à domicile grâce aux nouvelles technologies, <http://www.plan-alzheimer.gouv.fr/mesure-no7.html>, France.
- Pollack, M.E., Brown, L., Colbry, D., McCarthy, C.E., Orosz, C., Peintner, B., Ramakrishnan, S. et Tsamardinos, I. (2003). Autominder: an intelligent cognitive orthotic system for people with memory impairment. *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 44, n° 3-4, p. 273-82.
- Rahal, Y., Mabileau, P. et Pigot, H. (2007). Bayesian filtering and anonymous sensors for localization in a smart home. *Proceedings - 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops/Symposia, AINAW'07* (p. 793-797), Niagara Falls, ON, Canada, May 21-23 2007. Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, Piscataway, NJ 08855-1331, United States.
- Rahardja, K. et Kosaka, A. (1996). Vision-based bin-picking: recognition and localization of multiple complex objects using simple visual cues. *Proceedings of the 1996 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS. Part 3 (of 3)* (p. 1448-1457), Osaka, Jpn, Nov 4-8 1996. IEEE, Piscataway, NJ, USA.
- Rapport Lasbordes 2009, Rapport remis à Madame Roselyne Bachelot-Narquin, Ministre de la Santé et des Sports par Monsieur Pierre Lasbordes, Député de l'Essonne, France.
- Rapport « Vivre chez soi » 2010, Alain Franco - *Vivre Chez soi* - Rapport à Mme Nora Berra, Secrétaire d'État en charge des Aînés - Juin 2010, France.
- Rialle, V., Duchêne, F., Noury, N., Bajolle, L. et J., D. (2002). Health 'smart' home : Information technology for patients at home. *Telemedicine Journal and E-Health*, 8(4):395–409.
- Rialle, V., Lamy, J., Noury, N. et Bajolle, L. (2003). Telemonitoring of patients at home: A software agent approach. *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 72, n° 3, p. 257-268.

- Rialle, V. (2007a). *Technologie et Alzheimer. Appréciation de la faisabilité de la mise en place de technologies innovantes pour assister les aidants familiaux et pallier les pathologies de type Alzheimer*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Rialle, V. (2007b). Technologies nouvelles susceptibles d'améliorer les pratiques gérontologiques et la vie quotidienne des malades âgés et de leur famille. Rapport pour le Ministère de la Santé et des Solidarités.
- Rialle, V. et Ollivet, C. (2007). *Alzheimer : repenser le soin.*, chapitre Nouvelles technologies de l'information et de la communication : Quelle place peuvent-elles avoir face à la maladie ? Comment les mettre au service des malades et des familles ? Paris, Vuibert.
- Rialle, V., Ollivet, C., Guigui, C. et Herve, C. (2008). What do family caregivers of Alzheimer's disease patients desire in smart home technologies? Contrasted results of a wide survey. *Methods of information in medicine*, vol. 47, n° 1, p. 63-69.
- Scanail, C.N., Carew, S., Barralon, P., Noury, N., Lyons, D. et Lyons, G.M. (2006). A review of approaches to mobility telemonitoring of the elderly in their living environment. *Annals of Biomedical Engineering*, vol. 34, n° 4, p. 547-563.
- Serna, A., Pigot, H. et Rialle, V. (2007a). A computational model of activities performance decrease in Alzheimer's disease. *International journal of medical informatics*, vol. 76, n° SUPPL. 3, p. S377-S383.
- Serna, A., Pigot, H. et Rialle, V. (2007b). Modeling the progression of Alzheimer's disease for cognitive assistance in smart homes. *User Modelling and User-Adapted Interaction*, vol. 17, n° 4, p. 415-438.
- Serna A. (2008). Observation et modélisation des processus exécutifs et de leur dégradation lors du vieillissement cognitif dans la réalisation des activités de la vie quotidienne. Étude pour la conception d'un système d'assistance. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble et de l'Université de Sherbrooke au Canada. Septembre 2008.
- Shakshuki, E. et Jun, Y. (2004). Multi-agent development toolkits: an evaluation. *Proceedings* (p. 209-18), Innovations in Applied Artificial Intelligence. 17th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, IEA/AIE 2004, 17-20 May 2004. Berlin, Germany, Springer-Verlag.
- Shin, C., Yoon, H. et Woo, W. (2007). User-centric conflict management for media services using personal companions. *ETRI Journal*, vol. 29, n° 3, p. 311-21.

- Sotelo, M.A., Barriga, J., Fernandez, D., Parra, I., Naranjo, J.E., Marron, M., Alvarez, S. et Gavilan, M. (2007). Vision-based blind spot detection using optical flow. *11th International Conference on Computer Aided Systems Theory* (p. 1113-18), Computer Aided Systems Theory - EUROCAST 2007, 12-16 Feb. 2007. Berlin, Germany, Springer-Verlag.
- Stefanov, D.H., Bien, Z. et Won-Chul Bang (2004). 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, n° 2, p. 228-50.
- Stip, E. et Rialle, V. (2005). Environmental cognitive remediation in schizophrenia : Ethical implications of "smart home" technology. *Canadian Journal of Psychiatry*, 50(5):281–291.
- Tai, H. et Kosaka, K. (1999). The Aglets project. *Communications of the ACM*, vol. 42, n° 3, p. 100-1.
- Tang, P., Venables, T.: 'Smart' homes and telecare for independent living. *J. Telemed. Telecare* 6(1), 8-14 (2000).
- Uzunay, Y. et Bicakci, K. (2007). SHA: a secure voice activated smart home for quadriplegia patients. *2007 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine Workshops* (p. 151-8), 2-4 Nov. 2007. Piscataway, NJ, USA, IEEE.
- Vajaria, H., Islam, T., Sarkar, S., Sankar, R. et Kasturi, R. (2006). Audio segmentation and speaker localization in meeting videos. *18th International Conference on Pattern Recognition, ICPR 2006* (p. 1150-1153), Aug 20-24 2006. Piscataway, NJ 08855-1331, United States, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Vergnes, D., Giroux, S. et D., C.-T. (2005). Interactive assistant for activities of daily living. In Giroux, S. et Pigot, H., éditeurs : *The 3rd International Conference On Smart homes and health Telematics*, pages 221–228. IOS Press.
- Yang, Y., Howard Williams, M., Pooley, R. et Dewar, R. (2006). Context-aware personalization in pervasive communications. *IEEE International Conference on e-Business Engineering* (p. 7), Proceedings, 24-26 Oct. 2006. Shanghai, China, IEEE Computer Society.
- Yin, J., Chai, X. et Yang, Q. (2004). High-level goal recognition in a wireless LAN. *Proceedings - Nineteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2004)* (p. 578-583), Jul 25-29 2004. Menlo Park, CA 94025-3496, United States, American Association for Artificial Intelligence.

-
- Yoon, G., Jong Yeon Lee, Kye Jin Jeon, Kun Kook Park et Hong Sig Kim (2005). Development of a compact home health monitor for telemedicine. *Telemedicine Journal and e-Health*, vol. 11, n° 6, p. 660-7.
- Yu, C., Wu, C., Lu, C. et Fu, L. (2007). Human localization via multi-cameras and floor sensors in smart home. *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (p. 3822-3827), Oct 8-11 2006. New York, NY 10016-5997, United States, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Yun, J., Abowd, G.D., Ryu, J. et Woo, W. (2008). User identification with user's stepping pattern over the UbiFloorII. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 22, n° 3, p. 497-514.
- Zhang, Y., Pigot, H. et Mayers, A. (2004). Attention switching during interruptions. *In the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, pages 276–281, Shanghai, China.
- Zheng, H., Davies, R., Black, N.D., Ware, P.M., Hammerton, J., Mawson, S.J., Mountain, G.A. et Harris, N.D. (2006). The SMART project: an ICT decision platform for home-based stroke rehabilitation system. *ICOST 2006 4th International Conference on Smart Homes and Health Telematics* (p. 106-13), Smart Homes and Beyond, 26-28 June 2006. Amsterdam, Netherlands, IOS Press.
- Ziegler, M., Mueller, W., Schaefer, R. et Loeser, C. (2006). Secure profile management in smart home networks. *16th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA 2005* (p. 209-213), Aug 22-26 2005. New York, NY 10016-5997, United States, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Annexes

Annexe 1 : Un logiciel pour la configuration des capteurs	177
Annexe 2 : Les capteurs du DOMUS	181

Annexe 1 : Un logiciel pour la configuration des capteurs

Domus-Sensor-Handler est un logiciel conçu dans le cadre de ce travail de doctorat pour le réglage des capteurs dans l'appartement intelligent du laboratoire DOMUS. Il permet d'afficher la liste des capteurs de l'appartement après téléchargement du fichier XML qui les décrit. La sélection d'un capteur (voir la sélection de 0213 dans la Figure 20) dans la liste affiche les informations qui lui sont associées.

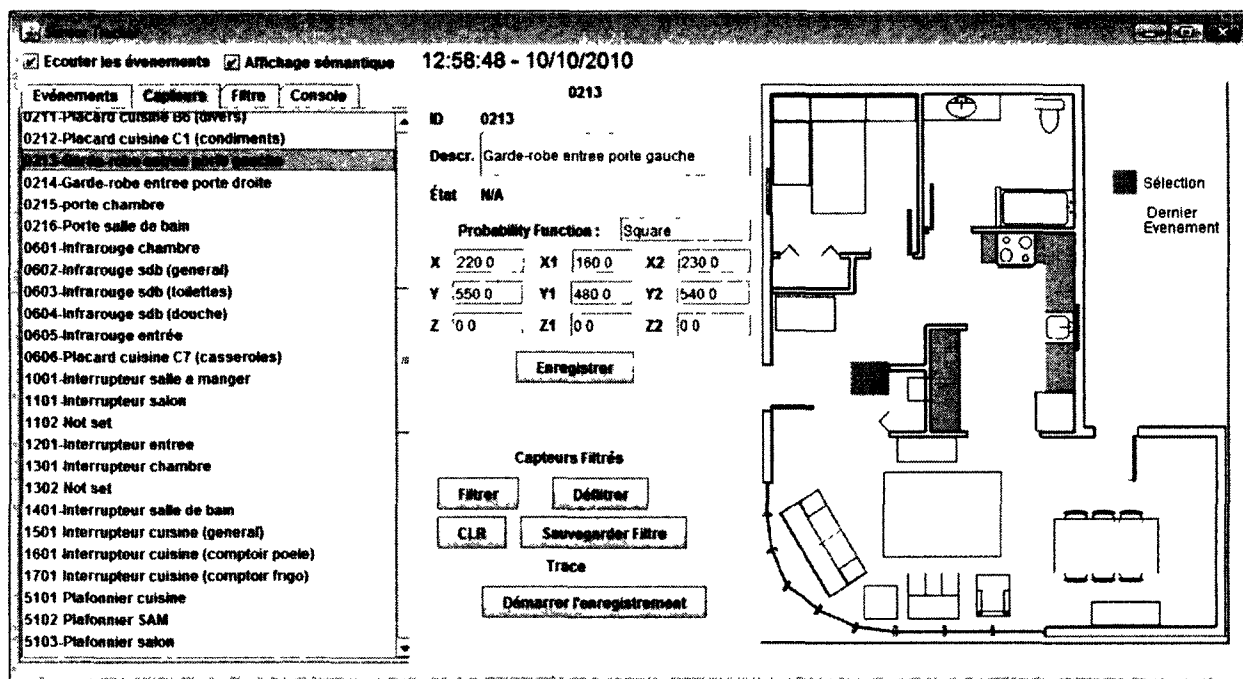


Figure 20 : Sélection du capteur 0213 dans la liste de capteurs de Domus-Sensor-Handler

Le logiciel affiche de la même manière les capteurs de contact de porte (Figure 20), les interrupteurs, les tapis tactiles ou les détecteurs de présence (Figure 21). Les informations pour chaque capteur comportent son identifiant, sa description textuelle,

l'état dans lequel il a été déclenché (on/off), la fonction de probabilité qui lui est attribuée, les paramètres de localisation qui définissent son volume de détection dans un repère spatial en trois dimensions. Une carte de l'appartement intelligent permet de situer graphiquement son emplacement pour pouvoir ajuster plus aisément les paramètres.

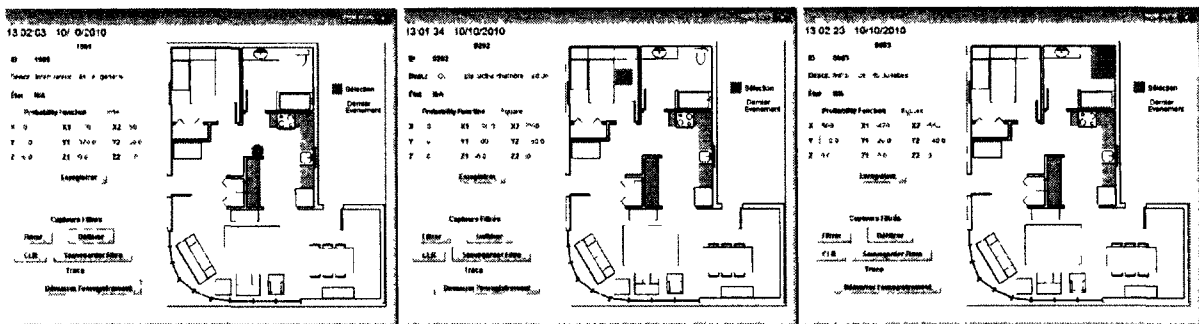


Figure 21 : Informations d'un interrupteur, d'un tapis tactile et d'un détecteur de présence.

Pour pouvoir sauvegarder les données des capteurs ayant subi des modifications tout en gardant un fichier unique de description de l'HIS, un service web est en place. Par son intermédiaire, le logiciel peut télécharger le fichier le plus à jour dès son lancement, et sauvegarder le fichier modifié sur demande de l'utilisateur. Lorsque le service web n'est pas disponible, domus-sensor-handler peut télécharger la dernière version du fichier de description, mais la sauvegarde n'est pas disponible. Le logiciel prévient alors l'utilisateur (voir Figure 22) et sauvegarde le fichier localement à la racine de l'exécutable.

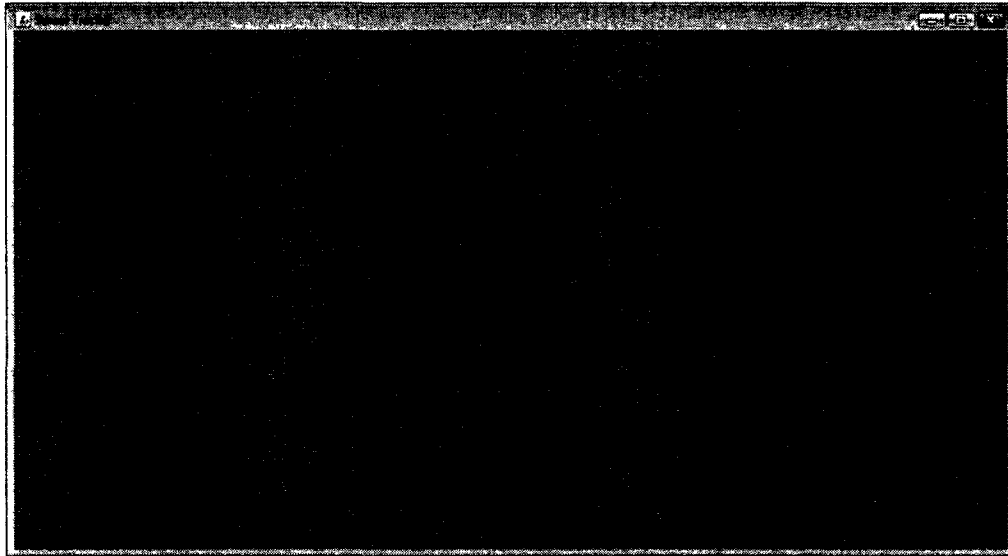


Figure 22 : Service web non disponible

Lors du déclenchement d'un capteur inconnu (non présent dans le fichier), son identifiant et des valeurs par défaut pour ses paramètres sont automatiquement ajoutés au fichier. L'utilisateur peut alors aisément paramétrer le capteur et le rendre utilisable pour tous les programmes qui référencent le fichier XML.

Afin de pouvoir s'adapter aux différentes versions du serveur d'événements qui lui envoie les données, un schéma de conception « strategy » lui permet de spécifier le mode de connexion de la même manière que l'agent de données dans le système ICEMAS. Il est également possible de filtrer les capteurs détectés pour ne pas être assailli de multiples événements non pertinents lors du réglage.

Quatre onglets permettent d'afficher plusieurs vues. L'onglet Evénement affiche les événements filtrés reçus en temps réel depuis le serveur d'événements configuré. L'onglet capteurs affiche la liste des capteurs recensés dans l'HIS. L'onglet Filtre

affiche les capteurs filtrés par l'utilisateur. L'onglet console affiche toutes les données reçues et toutes les actions effectuées sur le système.

Enfin, `domus-sensor-handler` permet également d'enregistrer la trace des événements reçus dans un fichier XML (et un fichier .CSV pour lecture simple) afin de pouvoir la rejouer par la suite. Cette fonctionnalité a été très utilisée pour ajuster les paramètres du système ICEMAS en mode déconnecté.

Annexe 2 : Les capteurs du DOMUS

Les capteurs de l'HIS du laboratoire DOMUS sont les sources d'informations de tous les systèmes d'assistance, notamment ICEMAS. Les plus utilisés dans cette recherche sont les capteurs de présence (Figure 23), les tapis tactiles (Figure 24), les contacts de portes (Figure 25), de placard ou de tiroir, les interrupteurs.

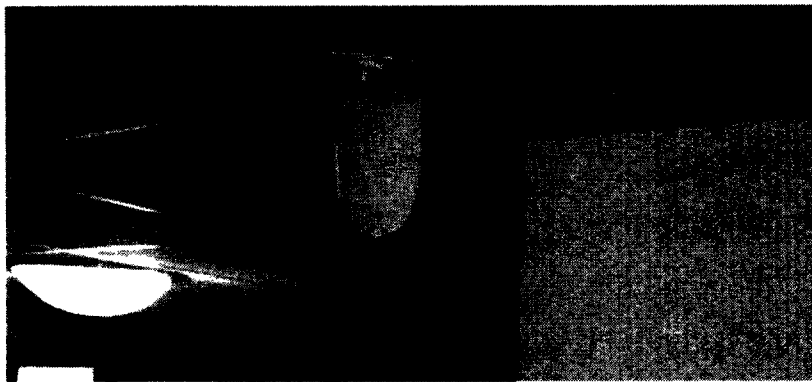


Figure 23 : Capteur de présence du salon

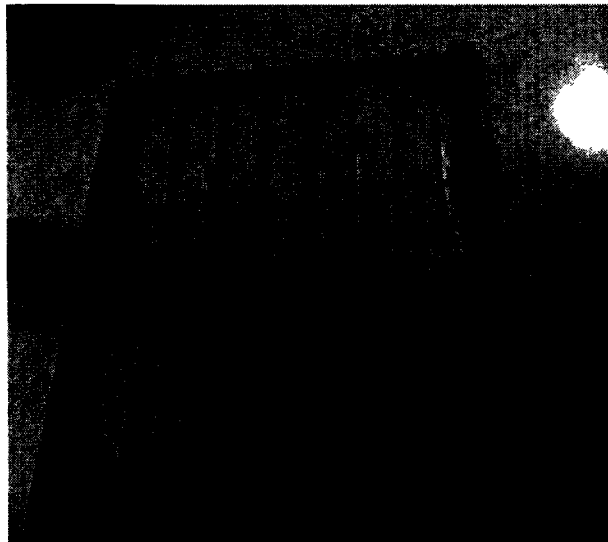


Figure 24 : Tapis tactile du couloir entre la cuisine et l'entrée

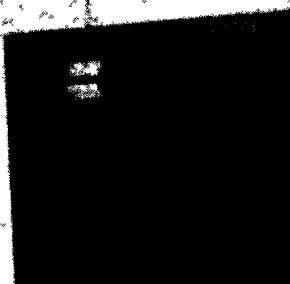


Figure 25 : Capteur de contact de la porte d'entrée

Tous ces capteurs sont connectés physiquement à une matrice (Figure 26) dans la salle des serveurs attenant à l'appartement. Des contrôleurs logiques programmables permettent de vérifier l'état de chacun de ces capteurs. Le serveur d'événement est un logiciel qui interroge ces contrôleurs et transmet à ses observateurs les changements d'états détectés. Une évolution future de ce service fournira des serveurs d'événements décentralisés qui auront chacun la charge de notifier les changements des capteurs assignés.



Figure 26 : Matrice de connexion physique des capteurs de l'appartement