



HAL
open science

Modélisation et expérimentation d'une chambre intelligente : les premiers pas d'une expérience hospitalière

Vincent Rialle, Nancy Lauvernay, Jean-François Piquard, Alain Franco,
Pascal Couturier

► To cite this version:

Vincent Rialle, Nancy Lauvernay, Jean-François Piquard, Alain Franco, Pascal Couturier. Modélisation et expérimentation d'une chambre intelligente : les premiers pas d'une expérience hospitalière. *Télémédecine en gériatrie*, 2000. hal-03437618

HAL Id: hal-03437618

<https://hal.science/hal-03437618>

Submitted on 20 Nov 2021

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

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

Modélisation et expérimentation d'une chambre intelligente : les premiers pas d'une expérience hospitalière

Vincent RIALLE¹, Nancy LAUVERNAY², Jean-François PIQUARD³, Alain FRANCO², Pascal
COUTURIER²

¹ Laboratoire TIMC-IMAG et CHU de Grenoble, UMR CNRS 5525, Université Joseph Fourier.
Vincent.Rialle@imag.fr

² LI2G - Laboratoire Interuniversitaire de Gérontologie de Grenoble, Pavillon E. Chatin, CHU de Grenoble, 38043 Grenoble Cedex.

³ Directeur de la Société ICAP - *Instrumentation Capteurs S.A.* -, Meylan.

Article publié, référence : Rialle V, Lauvernay N, Piquard J.-F, Franco A, Couturier P. (2000), Modélisation et expérimentation d'une chambre intelligente : les premiers pas d'une expérience hospitalière. In A. Franco (éd.) *Télé médecine en gérontologie*. Serdi Edition 2000, 105-127.

1. Introduction

1.1 Présentation générale

Ce texte présente une étude de modélisation et les premiers pas d'une expérimentation de *chambre intelligente*¹, concept qui se développe depuis quelques années dans le courant de la télémédecine et de la téléassistance. Il s'agit de concevoir, grâce aux hautes technologies (capteurs, informatique, télécommunication...) des aides techniques efficaces, fiables et conformes aux principes de l'éthique médicale. Ces aides techniques ont pour vocation l'aide aux soins et à la sécurité tant en milieu hospitalier qu'au domicile (Celler *et al.*, 1994; Cooper et Keating, 1996; Couturier *et al.*, 1996; Johnson et Andrews, 1996; Fisk, 1997; Lindberg, 1997; Montani *et al.*, 1997; Rooney *et al.*, 1997; Roth *et al.*, 1997; Warner, 1997). Leur objectif principal est de détecter des situations de détresse et d'avertir rapidement les soignants. D'autres objectifs sont également à considérer, tels que l'analyse chronologique d'événements sur une période donnée ou la participation à des études épidémiologiques.

Le modèle présenté ici est conçu pour une chambre en institution hospitalière ou clinique. Son extension à la chambre en habitat privé ne pose pas de problèmes importants sur le plan technique, mais soulève par contre des questions médicales et organisationnelles qui ne seront pas abordées ici.

Les situations de détresse dans la chambre hospitalière sont multiples et de gravités diverses (Descamps *et al.*, 1995). La technologie peut en détecter certaines, qui relèvent de chutes ou de malaises (Chan *et al.*, 1995). Son efficacité touche peu le domaine psychologique. Soulignons également que la technologie demande elle-même des soins. Son niveau de fiabilité doit être très élevé et des vérifications fréquentes du fonctionnement du matériel sont indispensables, à l'instar de tout appareil auxquels des vies humaines sont peu ou prou confiées (avion, automobile, téléphérique...).

¹ sous la double initiative du LI2G et de la société ICAP.

1.2 Problématique des alarmes et appels de détresse

La personne âgée en séjour à l'hôpital rencontre quotidiennement une série de problèmes allant du simple tracas à l'accident grave. Les chutes constituent l'un des principaux risques quotidiens (Bétend *et al.*, 1994; Descamps *et al.*, 1995; Van Weel *et al.*, 1995) : 60% d'entre elles se situent dans l'environnement immédiat du lit. Dans la plupart des cas, un appel à l'aide intervient juste après la chute. Qu'il soit dû ou non à une chute, un appel à l'aide intervient dans environ 40% des cas par le biais de la sonnette placée près du lit, dans 30% par la voix, dans 15% des cas par des déplacements vers un soignant, enfin, dans 15% des cas par des coups donnés au mur ou sur un objet pour éveiller l'attention d'un soignant. 70% de ces appels sont dits "légitimes" car motivés par une posture de détresse physique, les 30% restant étant des appels "relationnels" motivés par une détresse psychologique ou un le besoin d'une présence réconfortante. L'alarme peut être rapidement détectée ou n'être pas entendue ou perçue par les soignants. Ceux-ci se déplacent à une ou deux personnes. L'alarme nocturne est beaucoup plus facilement perçue que l'alarme diurne, qui peut intervenir à un moment de forte occupation.

1.3 Ethique du système présenté

La proposition de solution qui va être esquissée est à usage exclusivement médical, Elle est guidée par une intention de préserver l'intimité et la liberté de la personne, quel que soit son état de santé ou tout autre caractère non-médical. En particulier, *aucune transmission d'image vidéomobile n'est pratiquée* par ce système. Celui-ci est entièrement fondé sur l'usage discret de quelques capteurs de présence et sonore judicieusement disposés dans la chambre du malade, ainsi que d'une intelligence logicielle simple, robuste, adaptable aux diverses configurations de chambres et aux divers types de patients. Il faut souligner qu'une image fixe de la zone du lit peut être transmise en cas d'alerte grave pour faciliter l'identification du problème, sans que l'éthique n'en souffre. Cette possibilité a été envisagée mais non expérimentée dans le système présenté. D'une manière générale, l'image doit pouvoir être remplacée dans un futur proche par des capteurs évolués et discrets, donnant plus de renseignements sur la localisation et l'état physiologique de la personne en danger.

La chambre intelligente a pour but de détecter des chutes, sorties de lit pathologiques, malaises, appels vocaux, etc., et de transmettre ces informations au personnel en charge des soins et de la sécurité. Elle s'inscrit à ce titre dans le courant des technologies cognitives, dont l'objectif est de prolonger les capacités perceptives et cognitives des acteurs (en général experts) d'un domaine particulier, pour des tâches complexes. Tout usage de ce dispositif à d'autres fins que celles qui viennent d'être énoncées se place hors du champ de la pratique et de l'éthique médicales.

En matière de déontologie, il va sans dire qu'un appareillage de télé-surveillance n'a ni la vocation ni le pouvoir de remplacer des soignants. Comme indiqué précédemment, son seul objectif est le renforcement de la sécurité, l'accélération des secours, la facilitation des tâches quotidiennes et, d'une manière générale, l'amélioration de la qualité de vie des personnes en séjour hospitalier.

2. Matériels et méthodes

2.1 Matériels et logiciels : vue d'ensemble et précisions liminaires

Le système expérimenté (Fig. 1) comprend : a) un dispositif multipercéptif physique localisé dans la chambre du patient, b) un système expert multi-agent de vigilance implanté sur un micro-ordinateur. L'ensemble des travaux comporte une partie matérielle et une partie logicielle, les deux étant nécessairement étroitement liées, mais sans rapport de symétrie. En effet, la conception logicielle se veut suffisamment générique pour pouvoir prendre en compte une grande diversité de configurations matérielles, la généricité dans ce domaine étant source de clarification plutôt que de complexification.

La dissymétrie concerne également les niveaux de développement entre le matériel et le logiciel: tout le matériel décrit a été réellement utilisé dans les tests, mais il reste un matériel élémentaire qui sera rapidement dépassé par l'évolution technologique actuellement très rapide. En ce qui concerne la partie logicielle, c'est l'inverse qui s'est produit : une partie seulement a été programmée (en langage C++) et testée. Cette partie permet de prendre en compte tout le matériel utilisé. La partie non encore programmée permet, parmi d'autres possibilités, une adaptation à l'évolution technologique.

Nous insistons sur le fait que la configuration multimédia présentée ici n'est qu'une instance particulière de configuration matérielle parmi de nombreuses possibilités technologiques. Son but est de constituer un cas concret à partir duquel il a été possible de conduire un début d'analyse expérimentale et une première expérience dans le domaine de la télé-assistance pour la sécurité de la personne âgée dépendante. Ce dispositif a un aspect éminemment expérimental et non pas définitif : la solution présentée ne devra pas être considérée comme stable ni définitive, mais au contraire comme une matière à discussion et à modification.

De nouveaux capteurs, de nouvelles technologie multi-media (telle que le cryptage d'image, le suivi infra-rouge, etc.), non encore disponibles sur le marché au moment de l'expérimentation, sont susceptibles d'offrir d'importantes contributions à la chambre intelligente. Nous pensons notamment à l'usage de microcapteurs pour l'observation de l'état physiologique des patients ou encore à l'utilisation de détecteurs divers (de chaleur, d'ouverture/fermeture de porte, etc.). C'est cette diversité potentielle qui est prise en compte dans la modélisation logicielle.

En ce qui concerne le logiciel, le système multi-agent comprend d'une part un *agent perceptif*, sous-système d'intégration temporelle des signaux perceptifs issus du dispositif physique, d'autre part un *agent de raisonnement*, sous-système de raisonnement de haut niveau pratiqué sur les événements physiques transmis par le dispositif matériel et sur des données cliniques du patient produites par les soignants. Les deux sous-systèmes sont chacun dotés d'une certaine autonomie et d'une capacité d'interaction par messages avec l'autre sous système, le tout étant parfaitement coordonné pour remplir la mission générale de vigilance. Par ailleurs, l'agent de raisonnement possède deux capacités complémentaires : d'une part une capacité de déduction pour l'analyse d'événements présents et le déclenchement d'alarmes (*agent de déduction*), d'autre part une capacité d'induction de connaissances à partir de l'analyse rétroactive des événements sur plusieurs heures (*agent d'induction*).

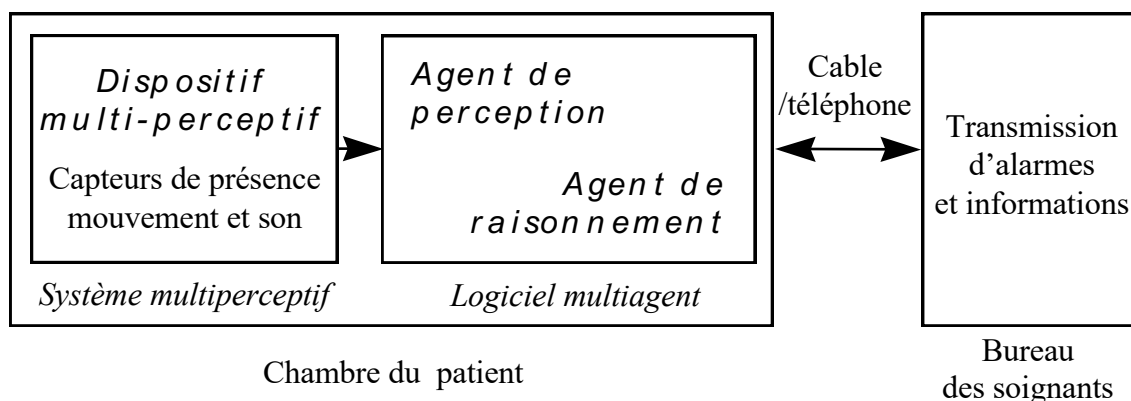


Fig. 1 : Système matériel/logiciel de la chambre intelligente en milieu clinique

2.2 Matériels

2.2.1 Description du dispositif multiperceptif

Le dispositif multiperceptif est relié à un ordinateur de type PC Pentium par une liaison série. Il comprend :

- Une caméra Imputer 2TM munie d'un processeur 8032 (1 Mo de mémoire, résolution : 256 x 256 en 256 niveaux de gris).
 - 6 cibles avec papier réfléchissant (identifiées P1 à P6).
 - Une lampe infrarouge de faible puissance (longueur d'onde de 800 nm) visant les 6 cibles.
 - Trois détecteurs de mouvement passif à infrarouge.
 - Une carte électronique de détection d'alarmes sonores. Cette carte enregistre tous les sons sur une fenêtre temporelle de quelques minutes avant le déclenchement de l'alarme. Cette possibilité d'écoute des sons enregistrés avant une alarme permet de mieux identifier les circonstances de l'alarme sonore.
 - Un interrupteur général placé à l'entrée de la chambre permettant d'interrompre le logiciel d'analyse des signaux.
 - Un boîtier de protection (pour la caméra, la lampe et un détecteur de mouvement).
- L'ordinateur PC héberge le système expert multi-agent.

2.2.2 Caméra intelligente et états physiques du dispositif

La caméra est dite "intelligente" en raison :

- d'un micro-contrôleur comprenant un microprocesseur 8 bits et une mémoire de travail capable de recevoir des programmes écrits en C au moyen d'un système de développement et d'une bibliothèque de procédures C spécifiques à la caméra,
- d'un capteur de type CCD/CMOS de 256x256 pixels en 256 niveaux de gris, au format vidéo standard PAL, CCIR.
- d'un logiciel dit "embarqué" qui confère à la caméra une "intelligence locale".

Ce logiciel permet :

1) d'analyser l'image vidéo construite par la caméra afin de localiser les cibles et de déterminer leur état (occulté ou non). Les 6 couples caméra-cible constituent les 6 détecteurs de présence référencés P1 à P6 ;

2) d'effectuer un prétraitement approfondi des signaux émanant des 3 détecteurs de mouvement référencés M1, M2 et M3, du détecteur de son S et de l'interrupteur général I placé à l'entrée de la chambre.

L'ensemble des signaux prétraités par la caméra est donc {P1,..., P6, M1, M2, M3, S, I}. Ce prétraitement consiste à rendre compte de l'état de chaque capteur à intervalles réduits, puis à construire les vecteurs de faits instantanés et rendre ces vecteurs disponibles en permanence à l'entrée du port série du PC (la communication est unidirectionnelle dans le sens caméra vers PC). La caméra ne transmet donc non pas des images (sauf exception dans le cas d'une alarme majeure), comme son nom invite à le penser, mais des chaînes d'informations portant sur l'état des capteurs de la chambre. Dans cette configuration, toute l'information des variables physiques est centralisée et transmise par la caméra intelligente au PC sur lequel est installée le système multi-agent.

2.2.3 Disposition des éléments dans la chambre

Les éléments physiques ont été disposés, à la suite de divers essais, selon la configuration indiquée par les figures 2 et 3. L'ensemble des résultats exposés font référence à cette configuration, mais le système reste aisément reconfigurable pour une autre disposition de chambre et admet l'ajout ou la suppression de capteurs. L'ordinateur hébergeant le logiciel peut être situé dans la chambre ou, pour des raisons de sécurité notamment, à l'extérieur, dans une salle peu distante.

La zone du lit est analysée par les 6 détecteurs de présence P1 à P6 (Les cibles sont numérotées depuis l'extrémité gauche jusqu'à l'extrémité droite du lit.) et le capteur de mouvement M1. La zone du lavabo et de l'entrée de la chambre est analysée par le capteur de mouvement M2, celle des toilettes

par le troisième capteur de mouvement M3. Le capteur sonore S est sensible pour l'ensemble des trois zones. Enfin, l'interrupteur I situé à l'entrée de la chambre permet à un soignant de déconnecter l'ensemble du système. Cette déconnexion est indispensable dans un certain nombre de circonstances telles qu'une activité médicale ou une réception de visite à l'intérieur de la chambre.

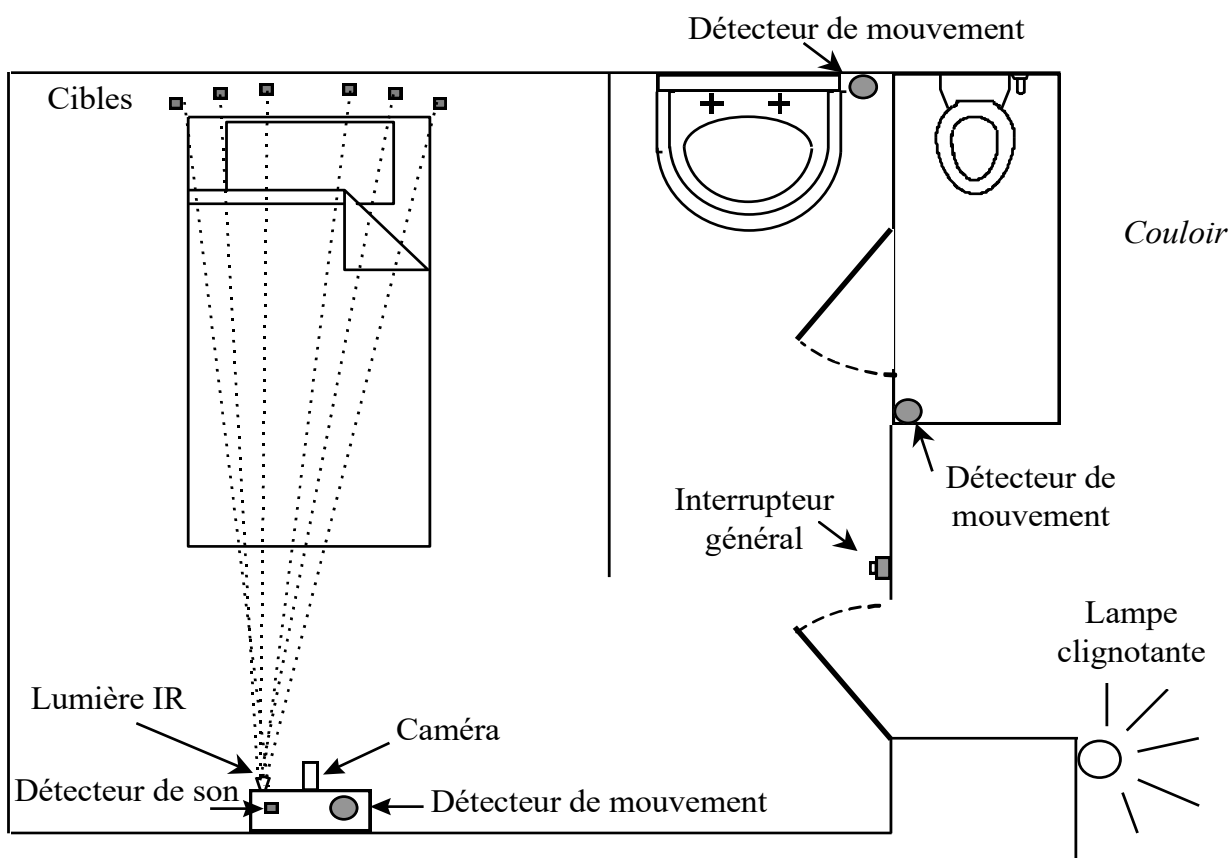


Fig. 2 : Configuration de la chambre expérimentée

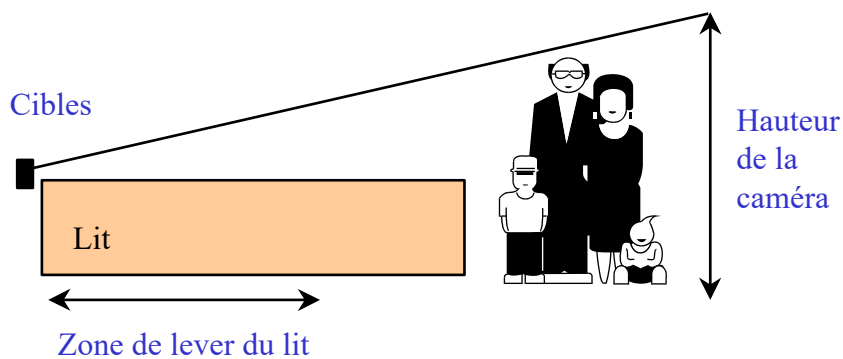


Fig. 3 : Position verticale de la caméra

Il existe une certaine variété de modes d'expression des alarmes. Celles du système expérimental décrit ici sont exprimées sous forme de messages ou des signaux sonores (rappelons que la transmission de l'image fixe est possible mais n'a pas été expérimentée) dans une salle de soignants spécialement consacrée à la téléassistance.

2.3 Logiciel

2.3.1 Un système expert multi-agents de vigilance pour le déclenchement d'alarmes

Le matériel, actuel ou potentiel, demande pour répondre aux objectifs attendus une contrepartie logicielle importante. Quatre grandes fonctions doivent être assurées par l'ensemble du système : la perception, le raisonnement, l'action et l'adaptation :

► La perception des événements temporels dans leur chronologie est assurée par un *agent de perception* constitué par un logiciel "temps réel" d'analyse des séries chronologiques transmises par le système multipercéptif physique. Cet agent logiciel possède un haut degré d'autonomie en ce qu'il doit rester en permanence "attentif" aux états et transitions d'états du système physique, quel que soit le raisonnement en cours à l'étape suivant.

► Le raisonnement est assuré par un couple *base de connaissance - moteur d'inférence*. Les raisonnements possibles par le système sont conservés dans la base de connaissances sous forme de règles d'inférence et de modules dits "agents intelligents". Il s'agit des connaissances nécessaires à la reconnaissance des situations d'urgence et à l'émission de messages d'information ou d'alarme. La base de connaissances est susceptible d'être modifiée à volonté, mais seulement bien sûr par une personne patentée. Elle constitue la mémoire à long terme de l'ensemble du dispositif de vigilance.

► L'action est rendue possible par le moteur d'inférence, chargé d'appliquer les connaissances pertinentes aux événements perçus par l'agent de perception. Ce moteur est programmé de manière fixe et n'est pas accessible à un programmeur expert.

► L'adaptation est rendue possible par deux voies :

- D'une part l'interface de gestion de la base de connaissances. Chaque configuration de chambre, chaque type de patient, chaque ajout de capteur, etc., nécessite une modification de la connaissance incluse dans le système. Il est donc important de rendre ces modifications de connaissance les plus aisées possibles, afin de permettre une adaptation aisée du système à toutes les situations.

- D'autre part un agent d'analyse rétroactive des séquences de faits médicalement significatifs sur une plage temporelle de quelques heures à plusieurs jours. Il s'agit d'un système d'extraction de connaissances à partir de données (data-mining) capable de faire ressortir des tendances générales et des comportements pathologiques, et d'offrir ainsi un niveau de vigilance supplémentaire pour le personnel soignant.

2.3.2 Espace de représentation du système

Le raisonnement est fondé sur des *variables* qui apportent chacune une part d'information utile à la détermination des événements ou séquences d'événements susceptibles d'attirer l'attention des soignants. Pour la clarté de la modélisation, ces variables doivent être réparties en deux grands ensembles : les variables physiques (VP) et les variables sémiotiques (VS), l'ensemble complet des variables (V) étant constitué par l'union de toutes les variables : $V = VP \cup VS$.

A) les *variables physiques* VP émanent directement d'un matériel M particulier (capteurs, caméra...) et rendent compte de l'état de la chambre à un instant donné. Dans notre cas de chambre, elles comprennent :

- Les 6 variables de présence P1 à P6, dont l'ensemble des valeurs est {occulté, non occulté}.
- Les 3 détecteurs de mouvement M1, M2 et M3, dont l'ensemble des valeurs est {actif, inactif}.
- Le capteur de son S, dont l'ensemble des valeurs est {déclenché, non déclenché}.
- L'interrupteur I de mise hors circuit du dispositif de vigilance.

Un état du système multipercéptif sera donc, dans notre cas de configuration, un n-uplet de dimension 11 prenant ses valeurs dans l'espace des variables VP(M) suivant :

$$VP(M) = \{ P1 \times P2 \times P3 \times P4 \times P5 \times P6 \times M1 \times M2 \times M3 \times S \times I \}$$

Comme indiqué précédemment, la caméra intelligente recueille l'état des 11 capteurs, construit et transmet à l'ordinateur le vecteur de valeurs correspondant, c'est-à-dire : (P1, P2, P3, P4, P5, P6, M1, M2, M3, S, I).

B) les *variables sémiotiques* de VS résultent d'un acte interprétatif sous la responsabilité du soignant. Les valeurs d'une variables sémiotique sont attribuées cas par cas par le soignant, à la différence des valeurs d'une variable physique, qui elles sont attribuée par la machine, sans intermédiaire humain pour les interpréter. Elles permettent de définir :

- Soit la manière d'interpréter les variables physiques. Nous trouvons dans cette catégorie la variable *durée*, permettant de reconnaître comme événement significatif un fait qui perdure suffisamment longtemps. Le fait "être aux toilettes" par exemple, observé sur une durée suffisamment longue, peut donner lieu à la reconnaissance de l'événement "malaise aux toilettes" *selon le patient*. Le caractère sémiotique de la variable vient de ce que *sa valeur est attribuée par le soignant* à partir de l'état clinique du patient ou de tout autre élément contextuel. Une variable telle que la *fréquence cardiaque* (non utilisée dans le cas présent) peut être d'abord obtenue par un instrument de mesure, elle figure alors parmi les variables physiques, mais ne participe au raisonnement que sous sa forme interprétée en termes, par exemple, de valeurs "diminuées", "normales" ou "augmentées" par rapport à des seuils interprétatifs donnés ou reconnus par le médecin.

- Soit l'état clinique du patient. Nous trouvons dans cette catégorie toutes les variables permettant de définir cliniquement une personne et dont les valeurs sont attribuées directement par le soignant. Se sont toutes les variables directement interprétatives, c'est-à-dire dont les valeurs ne sont pas "calculées" par la machine ; l'interprétation sémiotique étant une forme de calcul assumé par le soignant et fondé sur ses propres perceptions du malade. Citons, pour exemples de variables sémiotiques, un *niveau estimé de risque de chute* ou une *Crainte de récurrence de fugue* en cas de troubles du comportement.

Les variables sémiotiques sont utilisées dans la construction des règles d'alarme, dont la fonction est d'adapter le système au type de patient et au contexte environnemental (disposition de la chambre en particulier). Par exemple, un lever du lit peut être banal pour un patient alerte et cause d'alarme pour un patient à haut risque de chute.

Dans notre expérimentation, deux variables sémiotiques ont été utilisées : la durée et la fourchette horaire d'un fait. Il faut rappeler que c'est souvent *le temps*, sous forme notamment de durée, de fourchette horaire, de fréquence, etc., qui permet de donner son sens à un fait et d'en faire un événement significatif.

2.3.3 Niveaux et dynamique des représentations

Comme indiqué au point 2.3.1, la connaissance décisionnelle contenue dans le système reproduit un schéma de perception-raisonnement-action classique en sciences cognitives. La modélisation de ce schéma fait intervenir les quatre types suivants d'objets de raisonnement et leurs niveaux cognitifs respectifs :

- 1) les instantanés :
 - correspondent au niveau des *perceptions brutes* :
 - sont transmis à l'*agent de perception* par le système multiperceptif physique dans la *fenêtre temporelle* (cf. 2.3.4)
 - sont des valeurs (ou état) des capteurs à chaque instant (variables physiques)
- 2) les faits :
 - correspondent au niveau des *interprétations perceptives* :
 - sont des ensembles interprétables de séquences d'instantanés identifiées par l'*agent de perception* (cf. 2.3.5).
- 3) les événements :
 - correspondent au niveau des *intégrations temporelles* :

- sont des séquences chronologiques interprétables de faits ou successions significatives d'états de capteurs
- sont identifiées par l'*agent de perception*.

- 4) les règles
- correspondent au niveau des *synthèses logiques* :
 - sont des inférences portant sur les variables physiques, les variables sémiotiques et les événements
 - sont déclenchées par l'*agent de raisonnement* (cf. 2.3.6).

Quelques exemples permettront d'illustrer et de clarifier chacun de ces niveaux :

Fait

Prenons le fait "debout à droite du lit" dont une représentation est : $\langle 0,0,\#, \#, \#, 1, \#, 0,0,\#, \# \rangle$

a pour signification "indéfini" (soit 0 soit 1).

Instantanés

A ce fait correspond la liste suivante, non exhaustive, d'instantanés possibles :

$\langle 0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0 \rangle$	$\langle 0,0,1,0,1,1,0,0,0,0,0 \rangle$	$\langle 0,0,0,1,0,1,1,0,0,0,0 \rangle$
$\langle 0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0 \rangle$	$\langle 0,0,1,1,0,1,0,0,0,0,0 \rangle$	$\langle 0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0 \rangle$
$\langle 0,0,0,1,0,1,0,0,0,0,0 \rangle$	$\langle 0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,0 \rangle$	$\langle 0,0,1,0,0,1,1,0,0,0,0 \rangle$
$\langle 0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,0 \rangle$	$\langle 0,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0 \rangle$	$\langle 0,0,1,0,1,1,1,0,0,0,0 \rangle$
$\langle 0,0,1,0,0,1,0,0,0,0,0 \rangle$	$\langle 0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0 \rangle$	$\langle 0,0,1,1,0,1,1,0,0,0,0 \rangle$
		$\langle 0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,0 \rangle$

Événements

L'événement e="lever du lit" correspond à l'occurrence possible de deux événements élémentaires : "lever du lit à gauche" (e₁) ou "lever du lit à droite" (e₂).

Leur représentation syntaxique utilise une forme parenthésée et deux opérateurs PUIS et OU, PUIS signifiant "descendre dans l'arborescence" et OU signifiant un choix entre plusieurs noeuds de l'arbre) qui voici :

e₁="lever du lit à gauche": ("assis dans le lit à gauche" PUIS ("assis au bord du lit à gauche" PUIS "debout à gauche du lit") OU "debout à gauche du lit"))

e₂="lever du lit à droite": ("assis dans le lit à droite" PUIS ("debout à droite du lit" OU ("assis au bord du lit à droite" PUIS "debout à droite du lit")))

Règles

Comme indique en 2.3.2, les règles ont pour fonction d'adapter le système au patient et au contexte environnemental. Elles utilisent pleinement les variables sémiotiques en faisant largement appel à la durée et la fourchette horaire (période nocturne ou diurne) ainsi qu'aux caractéristiques pathologiques du patient. Par exemple, un patient absent de sa chambre durant plus d'une heure, de nuit conduira dans certains cas à un déclenchement d'alarme chez le surveillant de nuit, alors que pour d'autres patients la durée de sortie de chambre pourra être plus longue ou plus courte.

Exemple de règle liée à l'exemple précédent :

R = "lever du lit à risque" :

Si	horaire entre 20 heures et 7 heures
et	événement "lever du lit"
et	patient à haut risque de chute
Alors	Alarme - type="message et son", message="Levé du patient"

2.3.4 Architecture générale

Comme indique précédemment, la partie logicielle est constituée de deux agents logiciels principaux : l'agent de perception et l'agent de raisonnement (Fig. 4). Elle a pour mission :

- d'une part d'intégrer les données transmises par le dispositif multiperceptif physique,
- d'autre part de mettre en œuvre les connaissances définies par les experts du domaine (définition des faits, des événements et des règles),
- enfin, de produire des messages d'alertes et des synthèses informatives pour le personnel soignant.

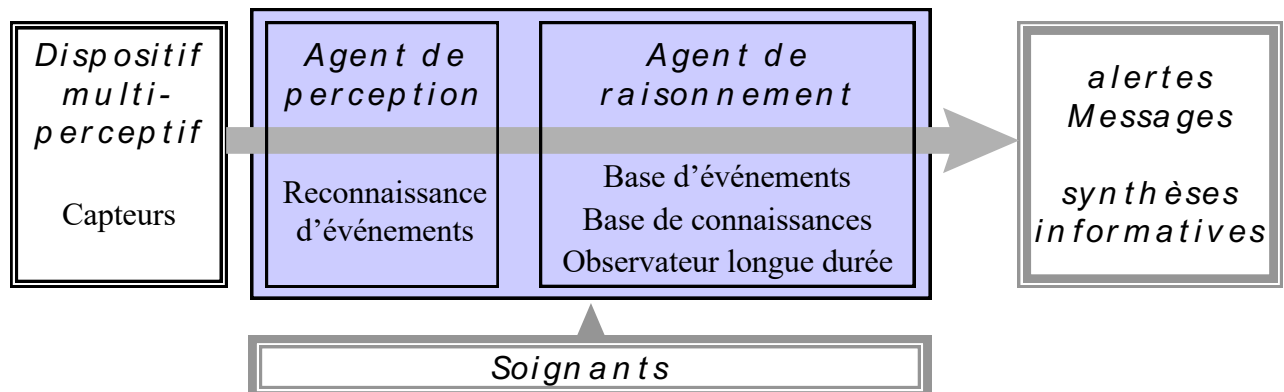


Fig. 4 : Architecture multi-agents

2.3.5 Agent de perception

L'agent de perception est un système de reconnaissance d'événements. Il est chargé de scruter l'entrée du port série de l'ordinateur pour enregistrer, puis analyser, les séries d'instantanés transmis par le dispositif multi-perceptif. L'enregistrement se fait dans une fenêtre temporelle suffisamment longue pour intégrer tous les événements, du plus rapide au plus lent, susceptibles de se produire. Il est donc doté :

- d'une base de connaissances propre, décrivant tous les événements répertoriés par l'équipe soignante.
- d'un moteur d'intégration temporelle, l'*intégrateur d'événements*, chargé d'associer aux séquences temporelles d'états les événements répertoriés susceptibles de leur correspondre.

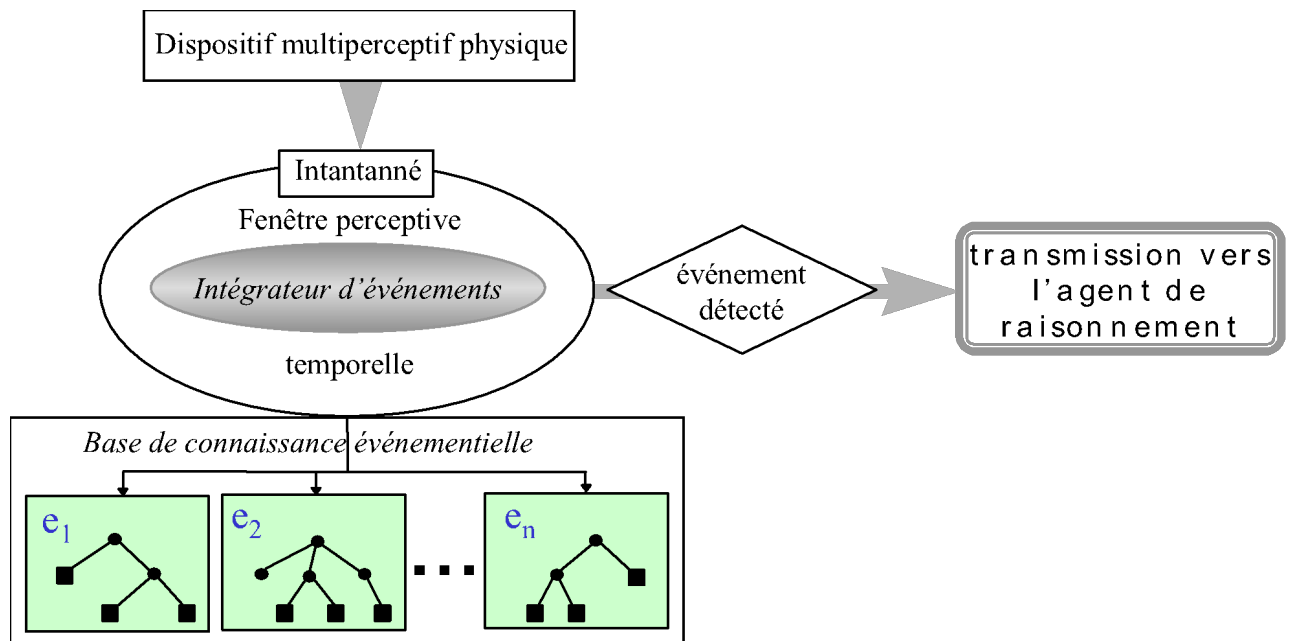


Fig. 5 : Agent de perception

Formellement, un événement e_i parmi n événements reconnaissables $\{e_1 \dots e_n\}$, détecté au temps t_0 et formé de d états successifs de VP(M), peut être exprimé par : $e_i = (i_{t-(d-1)}, \dots, i_0)$

Notation équivalente : $e_i = (i_t)_{t \in [t-(d-1), 0]}$

Un même événement pouvant résulter de différentes suites temporelles (cf. 2.3.3), il sera schématisé par une arborescence (Fig. 5). L'instant du début de l'événement se situe au sommet de l'arborescence d'événements, tandis que ses feuilles (représentées par des carrés) correspondent à des instant terminaux donnant lieu à l'envoi des messages d'événements détectés en direction de l'agent de raisonnement.

Le travail de l'intégrateur temporel consiste à dépister toutes les correspondances possibles entre la fenêtre temporelle de perception et les chemins d'arborescences d'événement.

2.3.6 Agent de raisonnement

L'agent de raisonnement (Fig. 6) analyse les événements qui lui sont transmis en fonction des conditions cliniques et contextuelles définies par les experts médicaux. Si ces conditions sont satisfaites, il y a déclenchement d'alarmes selon trois formes possibles :

- message simple,
- message associé à un signal sonore,
- message, signal sonore et image.

Dans la troisième forme de message, la possibilité de transmission d'image existe sur le plan technique mais n'a pas été implémentée. Des arguments éthiques évidents doivent être discutés en préalable à cette transmission d'image. Soulignons que plusieurs traitements techniques de l'image peuvent être envisagés pour préserver un anonymat, tel que la transmission uniquement des contours schématisés de la personne.

L'agent de raisonnement se compose de deux sous ensembles : l'agent de déduction et l'agent d'induction.

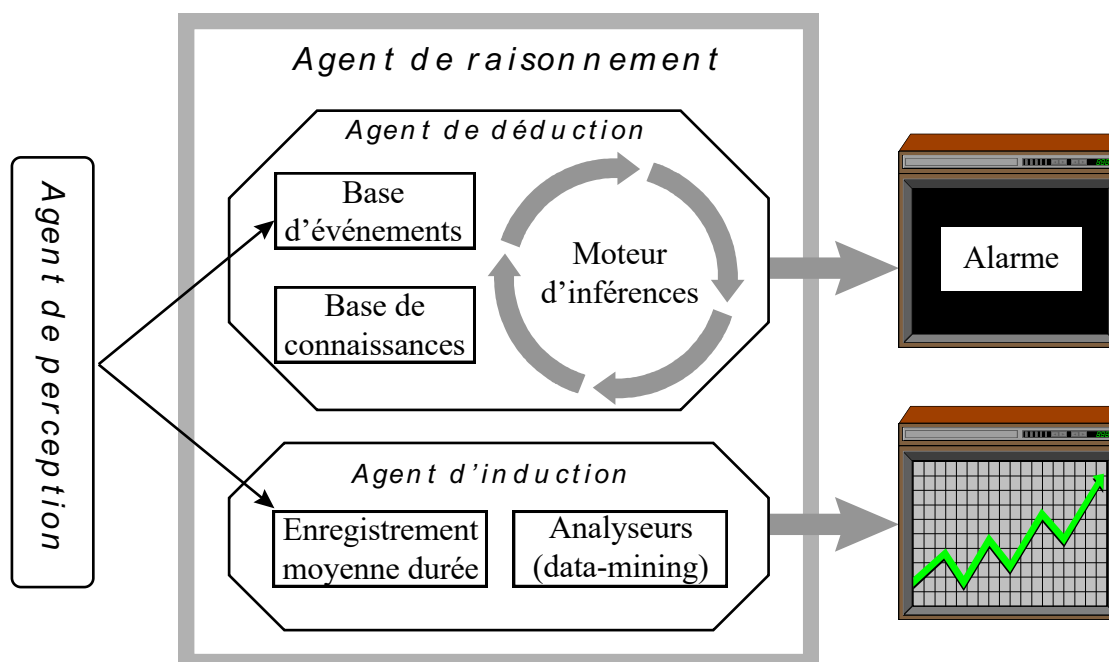


Fig. 6 : Agent de raisonnement

2.3.6.1 Agent de déduction

L'agent de déduction est chargé de rechercher et d'appliquer les règles de la base de connaissances aux événements qui lui sont envoyés par l'agent de perception. Sa fonction est de détecter des situations graves et d'avertir les soignants.

La structure de cet agent est de type système expert : il possède une base de règles d'inférences (ou base de connaissances) et un moteur d'inférences.

Comme le montre l'exemple cité au point 2.3.3, les règles sont énoncées en logique des propositions. Le moteur est donc d'ordre zéro (c'est-à-dire répondant à une logique des propositions) fonctionnant en chaînage avant et de manière monotone.

2.3.6.2 Agent d'induction

L'agent d'induction est chargé de l'extraction de connaissances à partir des données transmises par l'agent de perception. L'induction (ou extraction) de connaissances à partir de données (ICD), connue aujourd'hui sous le terme anglais de data-mining (Kodratoff et Diday, 1991; Adriaans et Zantinge, 1996; Fayyad et Piatesky-Shapiro, 1996), recouvre un ensemble de techniques visant à donner à l'expert, en l'occurrence le soignant, des informations synthétiques à partir de données élémentaires. Les connaissances produites peuvent être de tous types (propositionnelles, quantitatives, graphiques...), les données étant constituées par tout ce qui peut être numérisé (données obtenues par un utilisateur, un appareil de mesure, une recherche d'information sur le Web, des images,...). Extraire des règles générales de décision à partir de données élémentaires, telles que des descriptions de cas de malades, constitue l'une des principales applications dans ce domaine (Kononenko, 1984). Une autre voie prometteuse pour l'ICD en médecine consiste à produire des graphiques permettant une interprétation aisée de données multidimensionnelles, telles que celle de l'espace des variables V introduit au paragraphe 2.3.2. Les techniques utilisées sont puisées dans une grande variété de champs de recherche : la statistique, l'analyse des données multidimensionnelle, le connexionnisme, l'intelligence artificielle, etc. (Rialle, 1995a; Rialle, 1995b).

Dans le cas présent, les données sont constituées par l'enregistrement systématique, sous le contrôle du soignant, des événements produits par le système multipercéptif sur un laps de temps assez long (de l'ordre d'une journée ou plus). Des algorithmes de data-mining analysent ces données

et produisent des résultats graphiques ou des énoncés de synthèse à la demande du soignant. Il s'agit ni plus ni moins qu'une aide à l'interprétation des données du malade : histogrammes, résultats statistiques simples ou complexes, cartes multifactorielles, etc.

2.3.7 Protection du système

Plusieurs possibilités de mots de passe ont été envisagées mais non programmées. En situation expérimentale, une protection minimale du logiciel est assurée par le système de mot de passe général proposée par le système d'exploitation Windows 95 (aujourd'hui Windows 98). En situation d'activité clinique, outre le mot de passe général du système d'exploitation, un mot de passe particulier peut être installé pour l'accès aux paramètres et à la base de connaissance du système. Des systèmes logiciels particuliers et fiables de mots de passe seront alors à greffer en périphérie du système multi-agent.

3. Résultats

3.1 Un système en cours de développement

Comme indiqué en introduction et au point 2.1, le modèle qui a été présenté se veut suffisamment général pour permettre d'analyse d'autres configurations de chambres et tenir compte d'autres types de matériels physiques. Une part seulement a été programmée de manière à permettre l'expérimentation, tandis que la totalité du matériel décrit au point 2.2 a été utilisée. L'agent d'induction n'a pas été programmé, mais seulement simulée avec le logiciel Excel, alors que les autres agents ont été programmés dans une version très rudimentaire mais suffisante pour l'expérimentation.

L'état de la chambre à un instant donné peut être observé à tout instant sur l'écran de l'ordinateur au moyen de l'agent multiperceptif (Fig. 7).

Fig. 7 : Fenêtre d'état de la chambre

L'interface proposé aux soignants pour décrire tous les niveaux de représentation exposés aux points 2.3.2 et suivants a été programmé dans une première version. La Fig. 8 illustre la définition d'un fait de base par le soignant.

Fig. 8 : Ecran de définition d'un fait

La Fig. 9 donne un exemple de liste de règle telle que le soignant peut l'observer.

Fig. 9 : Ecran de liste des règles

Les Fig. 10, 11, 12 décrivent la progression de description d'une arborescence de règle par le soignant.

Fig. 10 : Fenêtre de construction d'un événement par l'expert - 1

Fig. 11 : Fenêtre de construction d'un événement par l'expert - 2

Fig. 12 : Interface de définition des arborescences d'événements

La Fig. 13 donne un exemple d'écran permettant au soignant de définir un message d'alarme.

Fig. 13 : Ecran de définition d'une alarme

3.2 Actimétrie nocturne

L'actimétrie est une mesure élémentaire des mouvements du patient permise par ce système. L'expérience a consisté à enregistrer dans un fichier l'activité d'un même patient au cours de plusieurs nuits. Deux nuits sont présentées sur la figure 7 dont l'une a été calme et l'autre agitée. Ont été enregistrés :

- les déclenchements des détecteurs de mouvement, du son et de l'interrupteur, soit {M1, M2, M3, S, I}
- l'heure à laquelle ces détecteurs se sont déclenchés.

Les courbes (Fig. 14) présentent le nombre de déclenchements du détecteur de mouvement M1 situé en face du lit pour chaque tranche horaire entre 16h et 7h le lendemain.

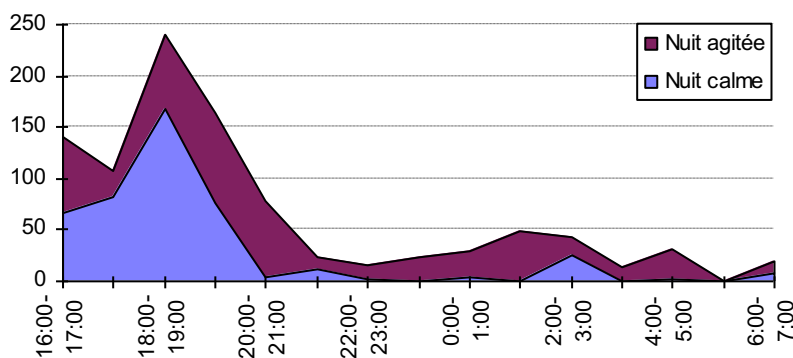


Fig. 14 : Actimétrie nocturne de 16h à 7h le lendemain

L'enregistrement des déclenchements des autres détecteurs (M2, M3, S et I) fournit des informations supplémentaires utiles à l'interprétation de certains pics. Par exemple, dans la nuit calme entre 2 et 3 heures du matin (Fig. 7), le pic local est dû à la visite des soignants qui a occasionné le déclenchement du détecteur du couloir M2 (plus la suspension volontaire du système par l'interrupteur I).

Le lendemain de la nuit dite agitée le patient a fait une chute. Celle-ci a pu être corrélée à l'activité nocturne agitée. En situation de fonctionnement clinique du dispositif, une telle information aurait pu permettre aux soignants sinon d'éviter la chute du moins d'en suspecter un risque accru et de prendre des dispositions.

4. Discussion

Afin de privilégier les aspects médicaux et l'étude de faisabilité proprement dite, nous n'avons pas cherché à réduire toutes les imperfections techniques rencontrées. Celles-ci restent cependant limitées et à portée de solutions à court termes en matière de hautes technologies.

Parmi les inconvénients techniques, il faut citer le rayon émis par les lampes de visées des cibles P1,...,P6 à une bande passante couvrant le rayonnement infrarouge mais aussi une faible part du spectre de lumière visible. Cette bande passante se traduit par une légère visibilité de la source dans une zone proche de la tête de la personne en position allongée sur le lit. Cet inconvénient peut être

supprimé grâce à une émission située hors du champ visible. Ce type d'émission existe mais n'était pas disponible à un prix modique lors de la présente expérimentation.

La présence d'une caméra dans la chambre peut être perçue comme inopportune et gênante pour l'intimité. Cette caméra, si l'on accepte qu'il n'y ait aucune transmission d'image même en situation d'extrême urgence, peut être supprimée et remplacée par un simple dispositif de capteurs, pour un coût nettement moindre.

Un autre inconvénient réside dans le nombre assez important de fils électriques blindés qui doivent être installés pour relier capteurs, caméra et ordinateur. Ces fils doivent être entièrement sécurisés eu égard aux fréquentes opérations de nettoyage des sols et aux diverses activités de la vie quotidienne. Cette limite technologique est également susceptible d'être dépassée par l'usage de plus en plus fréquent de transmissions sans fils.

5. Conclusion

Le travail présenté avait deux buts : d'une part réaliser une étude générale de chambre intelligente, d'autre part concrétiser cette étude par une expérimentation en "vraie grandeur" dans le cadre d'un service de soins gériatriques à l'hôpital. L'ensemble de la démarche visait la construction d'une expertise à la fois théorique et expérimentale.

Si le point de vue du théoricien de l'intelligence artificielle et des hautes technologies semble confirmé par le modèle, la mise en œuvre concrète au niveau de la programmation a rencontré des délais et des imprévus retardateurs. L'expérimentation réalisée a permis une validation de la démarche au plan technologique, alors que le point de vue du praticien n'est pas encore fondé par une pratique réelle. L'ensemble de ce travail est donc à prendre au niveau théorique et pré-expérimental.

Il reste que la chambre intelligente constitue une voie incontournable de développement de l'ingénierie pour la gérontologie, tout l'art consistant à maîtriser cette technologie, aux pouvoirs considérables, pour en faire un instrument médical fiable, aux capacités d'adaptations souples et étendues, et non-invasif pour la personne âgée dépendante.

Remerciements.

Ce projet a pu être conduit grâce au support financier accordé par la Région Rhône-Alpes dans le cadre du projet TELEGER **. Nous remercions également Emmanuel PIC, stagiaire ingénieur, pour sa contribution importante à la mise en œuvre du dispositif multiperceptif.

Bibliographie

- Adriaans, P. et D. Zantinge (1996). *Data Mining*. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley.
- Bétend, B., C. Eynard, A. Jourdain et C. Roos (1994). La chute chez les personnes âgées, Réflexions à propos d'un évènement ordinaire. *Gérontologie* 89: 12-18.
- Capecchi, V. (1995). Nouvelles technologies et personnes âgées. *Gérontologie et société* 75: 27-43.
- Celler, B. G., T. Hesketh, W. Earnshaw et E. Ilisar (1994). An instrumentation system for the remote monitoring of changes in functional health status of the elderly at home. In: N. F. Sheppard, M. Eden et G. Cantor, (Eds). New York, IEEE. 2: 908-909.
- Chan, M., H. Bocquet, D. Estève et J. Pous (1995). Intelligence artificielle et assistance aux personnes âgées. *Gérontologie et société* 75: 161-168.
- Cooper, M. et D. Keating (1996). Implications of the emerging home systems technologies for rehabilitation. *Med Eng Phys* 18(3): 176-180.
- Couturier, P., A. Franco, J. F. Piquard, J. Mansotte, C. Montani, C. Suarez, A. Mollier, C. Gucher, M. Frossard, M. C. Mouchet et A. M. Argentier (1996). Télégérontologie : de la téléassistance à la téléconsultation du malade âgé : mythe ou réalité. *Revue de Gériatrie* 1: 23-31.
- Descamps, C., J. L. Bosson, P. Couturier et J. C. Casset (1995). Evaluation des chutes chez les personnes âgées en médecine ambulatoire. *La revue de gériatrie* 20(5): 302-307.

- Fayyad, U. M. et G. Piatetsky-Shapiro (1996). *Advances in knowledge discovery and data mining*. Cambridge, MA, AAAI Press: MIT Press.
- Fisk, M. J. (1997). Telecare equipment in the home. Issues of intrusiveness and control. *J Telemed Telecare* 3(Suppl 1): 30-32.
- Johnson, P. et D. C. Andrews (1996). Remote continuous physiological monitoring in the home. *J Telemed Telecare* 2(2): 107-113.
- Kodratoff, Y. et E. Diday (1991). *Induction symbolique et numérique à partir de données*. Toulouse, France, CEPADUES Editions.
- Kononenko, I. (1984). *Experiments of automatic learning of medical diagnostic rules*. Ljubljana, Yugoslavia, Josef Stephan Institute.
- Lindberg, C. C. (1997). Implementation of in-home telemedicine in rural kansas: answering an elderly patient's needs. *J Am Med Inform Assoc* 4(1): 14-17.
- Montani, C., N. Billaud, J. Tyrrel, I. Fluchaire, C. Malterre, N. Lauvernay, P. Couturier et A. Franco (1997). Psychological impact of remote psychometric consultation with hospitalized elderly people. *J Telemed Telecare* 3(1): 140-145.
- Rialle, V. (1995a). Cognition and decision in biomedical artificial intelligence: From symbolic representation to emergence. *Artificial Intelligence and Society* 9(2): 138-160.
- Rialle, V. (1995b). Vers la maîtrise informatique de la connaissance. In: D. H. Joly, (Ed). *Biomédecine 2000*. Paris, Lavoisier: 52-75.
- Rooney, E. M., S. A. Studenski et L. L. Roman (1997). A model for nurse case-managed home care using televideo. *J Am Geriatr Soc*, 45(12): 1523-1528.
- Roth, A., Z. Carthy et M. Benedek (1997). Telemedicine in emergency home care--the 'Shahal' experience. *J Telemed Telecare* 3(Suppl 1): 58-60.
- Van Weel, C., H. Vermeulen et W. VanDenBosch (1995). Falls, a community care perspective. *The Lancet* 345(8964): 1949 : 1951.
- Warner, I. (1997). Telemedicine applications for home health care. *J Telemed Telecare* 3(Suppl 1): 65-66.