

Habitat intelligent pour la santé : systèmes et équipements

par Norbert NOURY et Vincent RIALLE

Le concept d'habitat intelligent pour la santé vise au maintien à domicile de personnes handicapées, malades ou âgées. Des systèmes de télémédecine offrent une réponse graduée, donc adaptée, à chaque cas, pour sécuriser le patient sans envahir inutilement sa vie quotidienne.

Norbert NOURY est maître de conférences à l'université Joseph-Fourier de Grenoble. Au sein du laboratoire Techniques de l'imagerie, de la modélisation et de la cognition (TIMC-IMAG UMR CNRS 5525), il est cofondateur et dirige l'équipe Acquisition, fusion d'information et réseaux pour la médecine (AFIRM).

Norbert.Noury@imag.fr

Vincent RIALLE est maître de conférences à l'université Joseph-Fourier et praticien hospitalier au CHU de Grenoble. Il est cofondateur de l'équipe AFIRM au laboratoire TIMC-IMAG.

1. Contexte

Le concept d'habitat intelligent pour la santé (HIS) vise à redonner une vie autonome, dans leur domicile, à des personnes souffrant de divers handicaps et pathologies qui devraient normalement les contraindre à une hospitalisation ou à un placement en institution spécialisée : patients souffrant de certaines maladies chroniques, handicapés, mais aussi personnes âgées dépendantes.

Pour prévenir les risques associés à l'absence de support médical « présentiel », des systèmes technologiques doivent être mis en œuvre pour offrir des réponses graduées, adaptées au cas par cas, tout en demeurant le moins invasif possible afin de ne pas interférer avec le mode de vie du sujet. En particulier, le concept d'habitat intelligent pour la santé est un des moyens susceptibles de permettre le maintien à leur domicile de ces personnes.

L'évolution démographique des pays avancés va dans le sens du vieillissement de la population. Aux alentours de l'année 2035, un tiers de la population européenne sera âgée de plus de 65 ans. Une telle évolution alourdira les systèmes de santé des pays concernés autant sur le plan économique que social. Les coûts économiques seront directement liés aux soins eux-mêmes, mais intégreront également les coûts de réorganisation des systèmes de soins (coûts cachés) : à cause de l'importante population de personnes nécessitant des soins, il faudra complètement réorganiser le système de distribution (fourniture) de

soins et redéfinir les tâches entre les différents acteurs du réseau de santé. La pression sociale s'intensifiera aussi car les citoyens souhaiteront jouer un plus grand rôle dans la prise en charge de leur santé, réclameront une information plus complète sur leur état de santé et souhaiteront également une plus grande autonomie dans la prise en charge de leur santé, et ce en toute liberté. Cette charge de travail accrue dans le secteur de la distribution des soins accentuera encore la pénurie en personnel qualifié. Pour rendre attractifs les métiers de service aux personnes âgées, il faudra fournir aux professionnels des outils adaptés et valorisants pour améliorer leur productivité et la qualité de leur service.

Cette évolution nécessite également de repenser dès aujourd'hui la place de la personne âgée dans notre société. Avec l'éclatement du noyau familial, la personne âgée est devenue de plus en plus isolée en institution ou même à domicile. Elle se sent mise à l'écart du système, comme en témoignent les chiffres croissants du nombre de suicides et de cas de maltraitance.

Nota : on a dénombré 3 000 suicides de personnes de plus de 65 ans en France en 1998 et 5 000 cas de maltraitance en 2000.

Les systèmes de télémédecine n'ont pas donné lieu au développement d'une discipline scientifique ou technologique propre, cependant nous allons voir qu'ils nécessitent la compréhension et la maîtrise d'un grand nombre de domaines scientifiques et technologiques.

2. Systèmes de télémédecine vers le domicile

La télésurveillance médicale (suivi médical à distance, télémonitorage médical, *home health care*) est une branche de la télémédecine qui a donné lieu à beaucoup de recherches au cours des deux dernières décennies et a abouti à quelques développements, en particulier en matière de systèmes centrés sur le domicile. La télésurveillance médicale fait appel aux techniques organisationnelles d'une part, aux technologies des systèmes d'information d'autre part, pour tenter d'assurer à domicile un

Dans les Techniques de l'Ingénieur :

De la construction intelligente vers l'urbatique [C 3 780] de A. Filloux
Domotique [C 3 781] de A. Filloux
Immotique [C 3 782] de A. Filloux

niveau de soins équivalent à celui dispensé en institution en terme de qualité et d'efficacité. Mais il lui faut en plus garantir le respect de la vie privée de la personne et ne pas perturber son mode de vie.

Les caractéristiques requises par ces systèmes de télésurveillance ont été identifiées depuis longtemps [1] [2]. Il est maintenant établi et accepté que ces systèmes devront être ouverts, capables d'intégrer des technologies assez diverses et en même temps suffisamment flexibles pour s'adapter au cas de chaque patient et pour prendre en compte l'aspect dynamique de l'état de santé.

Le concept d'habitat intelligent pour la santé est une déclinaison (spécialisation) de celui des habitats intelligents (*smart homes*) qui intègrent déjà des capteurs et des actionneurs pour « suivre » les occupants, communiquer et les seconder intelligemment dans l'accomplissement des tâches journalières et répétitives. Dans le cas du suivi médical de personnes fragiles, il s'agit de surveiller l'état de santé, le niveau d'autonomie par référence à un état identifié (par exemple, la grille « AG-GIR » [3], les *activités of daily living* (ADL) [4] [5]), de détecter les déplacements et les chutes, de remédier à la détérioration des facultés cognitives (perte de mémoire, errances), de veiller aussi à la sécurité de la personne en surveillant les paramètres de son environnement ; enfin, il s'agit d'assister la personne dans l'accomplissement d'un certain nombre de tâches (aides techniques).

3. État de l'art des systèmes d'habitats intelligents pour la santé

Plusieurs auteurs [6] [7] ont récemment tenté de dresser un bilan de l'état de l'art des innombrables projets qui ont vu le jour dans le domaine de la télésurveillance médicale et des habitats intelligents pour la santé. Nous citons ici ceux qui ont en commun le recours à un **monitorage passif** pour détecter des comportements et déclencher des alarmes.

Togawa et coll. [8] [9] [10] fut l'un des premiers à monitorer les activités journalières du sujet (heures de coucher, de toilette, de prise de repas) en même temps que certains paramètres physiologiques. Les données collectées sont alors transmises au personnel en charge, aucune alarme n'est déclenchée.

Inada et coll. [11] ajoute la possibilité de mettre en contact la personne avec l'équipe de secours. En plus des variables physiologiques et des activités physiques, le système enregistre des informations plus subjectives.

Noury [1] [12] s'appuie le premier sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication (le Minitel et la technologie des serveurs Videotex) pour mettre en réseau les domiciles, collecter à l'aide du Biomaster les variables physiologiques en même temps que des informations textuelles concernant le patient.

Richardson [13] [14] crée, dans l'*adaptable smart home* (ASH) un réseau commun pour contrôler et monitorer des dispositifs à l'intérieur du logement comme depuis l'extérieur. Il rend ainsi les dispositifs plus faciles à utiliser et plus « aidants ».

Alyfuku et Hiruta [15] ont déposé un brevet sur le monitoring passif de la personne.

Celler et coll. [16] mesure le comportement et l'état de santé de la personne à partir de dix-huit capteurs : des détecteurs de présence pour estimer la mobilité dans le logement, des capteurs de conditions ambiantes et d'autres capteurs qui monitorent l'utilisation des ressources (réfrigérateur, eau chaude). Tous ces capteurs sont interconnectés sur un réseau Echelon Lonworks et les données sont automatiquement transmises par modem vers un centre de télésurveillance pour y être traitées en différé.

Chan et coll. [17] [18] [19], dans leur chambre hospitalière intelligente, font appel à un apprentissage par réseau de neurones pour monitorer l'environnement et déclencher des alarmes de manière automatique (PROSAFE).

Roth et coll. [20] décrit l'expérience Shahal de télésurveillance de malades cardiaques à domicile. Un enregistreur au domicile permet la transmission d'un ECG à douze dérivations pour une analyse en temps réel à distance. La pression artérielle et les résultats de tests respiratoires sont également transmis. La porte d'entrée peut être déverrouillée à distance en cas d'urgence.

Leikas et coll. [21] décrit un système pour le monitoring des personnes démentes à domicile en utilisant de simples contacts de portes.

Mozer [22] utilise dans la Neural Network House des réseaux de neurones pour apprendre les réglages environnementaux préférés des occupants et les utilise pour optimiser le système de gestion d'énergie tout en satisfaisant les exigences de l'utilisateur. Il ne prend pas en compte de paramètres physiologiques.

Williams et Doughty [23] [24] ont développé, dans le cadre du projet CarerNet, une architecture générique de système d'information qui a été implémentée dans le projet Midas [25]. Une analyse du comportement du sujet permet de déclencher des alarmes en cas de sortie d'un profil type. L'implémentation met également en œuvre des systèmes de *reminders* (pense-bêtes) utilisant la synthèse artificielle de parole.

Elger [26] met l'accent sur l'assistance technique aux personnes à mobilité réduite ou ayant des déficiences visuelles, auditives ou cognitives. Le démonstrateur SmartBo a été installé dans un appartement ordinaire pour en démontrer la simplicité.

Bonner [27] a développé un autre démonstrateur, le projet Assistive Interactive Dwelling (AID) House, et a commencé à s'intéresser aux problèmes d'éthique concernant la surveillance continue de la personne.

Van Berlo [28] prend en compte les 71 recommandations du Dutch Senior Citizen Label pour concevoir la Smart Model House for Senior Citizen en insistant sur la sécurité d'une part et sur le confort et les économies d'énergie d'autre part.

Sixsmith [29] décrit un système qui bâtit un profil moyen d'activité à partir duquel il peut détecter les écarts au modèle et fabriquer automatiquement des messages d'alerte. Ce système, évalué sur 22 appartements, fut bien accepté par les personnes âgées comme par les aidants.

ECG : électrocardiogramme

HIS : habitat intelligent pour la santé

ADL : *activity of daily living*

ASH : *adaptable smart home*

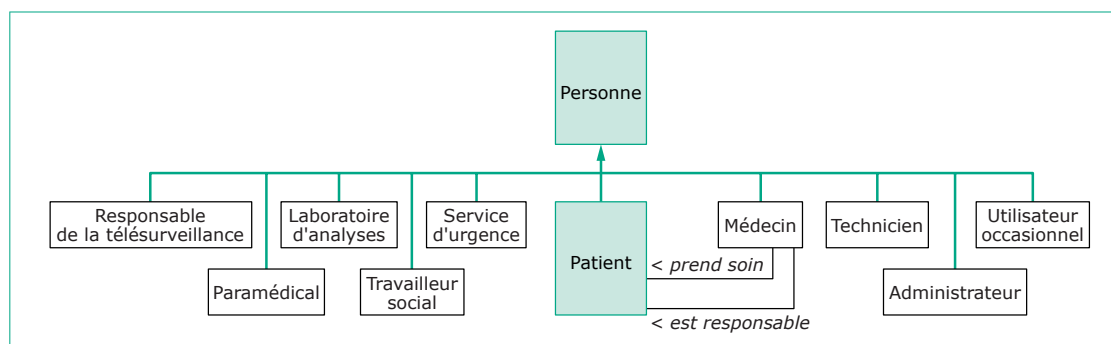


Figure 1 – Acteurs du système de télémédecine

Glascok et Kutzik [30] détectent automatiquement les ADL, sans déclenchement d'alarme, les données sont traitées en différé. Leur brevet [31] couvre aussi la possibilité de générer un signal de contrôle à partir de l'observation des signaux.

Noury et Rialle [32] [33] mettent sur un réseau domotique des capteurs et des actionneurs qui coopèrent entre eux et avec un système d'information reposant sur les technologies Web et Java. Ils mettent en réseau les habitats intelligents pour la santé, qui recueillent les variables physiologiques et d'activité de la personne, détectent des scénarios de situations anormales ou de crises à l'aide d'un système intelligent distribué à base d'agents intelligents, et peuvent agir sur l'environnement du domicile (SIC-HIS).

Maglaveras [34] a développé, dans le cadre d'un projet européen, l'architecture générique du Citizen Healthcare System (CHS) en s'appuyant sur les technologies de programmation orientées objets, les réseaux locaux sans fils et les standards d'échange de dossiers électroniques médicaux (DICOM, SCP-ECG).

Plus récemment, les grands laboratoires de recherche et les industriels de dimension internationale se sont intéressés à ce domaine et proposent leurs propres projets : le Georgia Tech Institute (Aware House) [35], le MIT (MIT's House), l'université de Washington (Assistive Cognition) [36], la compagnie Honeywell (Independent LifeStyle Assistant (ILSA)), l'université de Rochester-NY (Center for Future Health).

Mais parmi tous ces projets, bien peu ont effectivement été évalués chez les personnes âgées (Leikas [21], Richardson [13] [14], Sixsmith [29]), et encore moins sont arrivés au stade commercial (Vigil, Sincere Kourien).

4. Système d'information pour la télésurveillance médicale

L'analyse du système d'information sur lequel repose la circulation des informations relatives au patient et qui permet sa prise en charge par des acteurs distants et distribués passe par une modélisation. L'outil reconnu en matière de modélisation des systèmes d'information est actuellement le langage UML.

4.1 Acteurs, données et cas d'utilisation

Le système regroupe des acteurs à domicile (figure 1) : le patient lui-même, les producteurs de soins (médecins hospitaliers, médecins de ville, infirmiers et aides-soignants), les pharmaciens, les laboratoires d'analyses biologiques et de radiographie, les téléopérateurs (service 24 h/24), les travailleurs sociaux (assistance sociale, aide à domicile, service de livraison des repas, etc.), les utilisateurs occasionnels (membres de la famille, voisins), les personnels d'urgence et les administrateurs du système (soutien technique et logistique).

Les différentes fonctionnalités du système concernent : l'identification de l'accédant au système, la consultation des dossiers médicaux, la rédaction ou la consultation des prescriptions, l'écriture et la lecture des paramètres. Les acteurs au domicile (soignants, travailleurs sociaux) peuvent être amenés à ajouter des notes d'intervention. Les administrateurs ont leurs propres cas d'utilisations (mise à jour de logiciels et de matériels, modification des paramétrages).

Enfin, on identifie divers types de données : les prescriptions rédigées par les médecins, les protocoles de surveillance (choix des données, des capteurs et des instants d'enregistrement), les paramètres vitaux (valeurs, instants de prise, qualité de la prise), les commandes (en direction des machines et des actionneurs au domicile), les messages échangés entre les acteurs (messagerie), les identifiants personnels (droits d'accès et d'action aux données) et enfin le dossier médical qui regroupe toutes les informations administratives concernant le patient, l'identification des services dont il dépend et tout l'historique des prescriptions, des paramètres vitaux enregistrés, des résultats d'analyses médicales. Certaines informations sont confidentielles (figure 2).

4.2 Architecture logique

Le système d'information comprend des postes patient (système domotique), un serveur et des postes clients.

DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) est un format normalisé pour la compression et la transmission d'images médicales :

<http://medical.nema.org>

SCP-ECG (Standard Communications Protocol for Computer-Assisted Electrocardiography) est un format de données normalisé pour la compression et la transmission de signaux électrocardiographiques.

AID : Assistive Interactive Dwelling

CHS : Citizen Healthcare System

ILSA : Independent LifeStyle Assistant

UML : Unified Modelling Language

PROSAFE

<http://www.laas.fr/>

PROSAFE

SIC-HIS

<http://www.timc.imag.fr/>

AFIRM/SiteHIS

MIT Home of the Future

http://architecture.mit.edu/house_n/web

Université de Rochester

<http://www.futurehealth.rochester.edu>

Vigil Health Management

<http://www.vigil-inc.com>

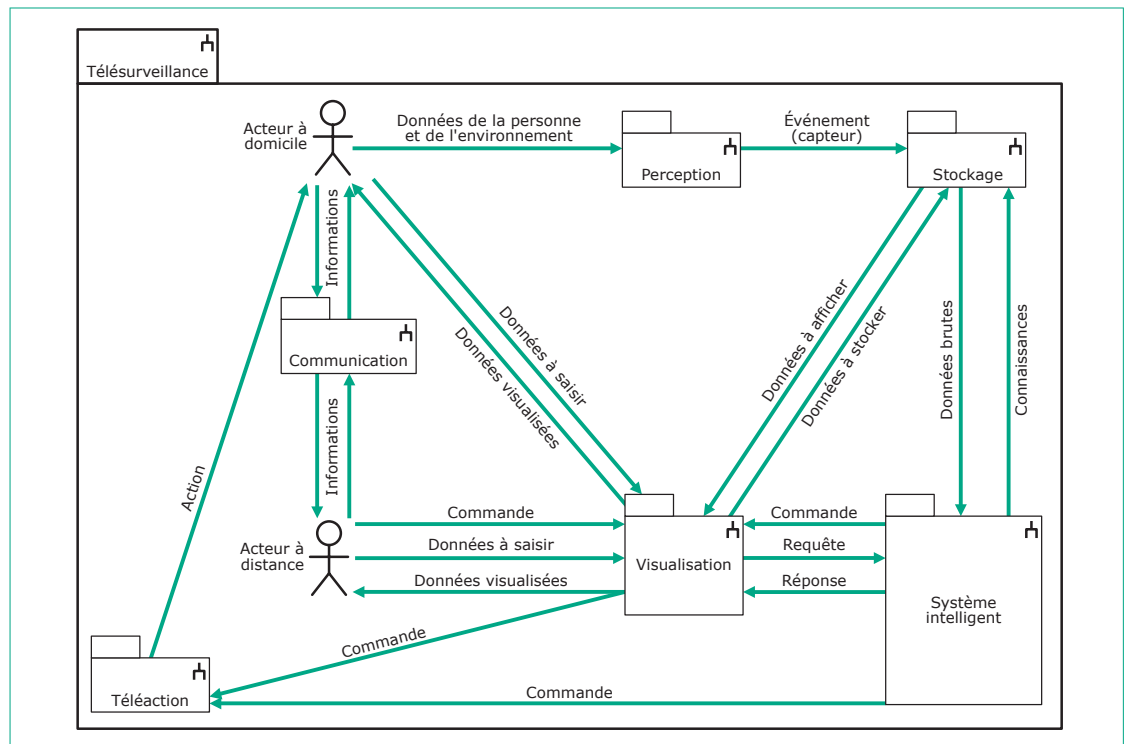


Figure 2 – Modèle statique du système de télésurveillance

4.2.1 Serveur

Le serveur est constitué d'une base de données, d'un serveur de communication (serveur Web) et d'un module d'aide à la décision.

La **base de données** mémorise toutes les informations pertinentes pour le télémonitorage du patient : le dossier médical, les données saisies au domicile par le patient et les capteurs qui l'entourent, les alarmes générées, les notes des médecins, les remarques médicales, les notes des infirmières, les messages du patient et des intervenants.

Le **serveur Web** gère un accès sécurisé à la base de données au travers du réseau Internet.

Le **module d'aide à la décision** analyse « en temps réel » le trafic des données entre les intervenants.

Les composants du serveur peuvent être répartis entre plusieurs ordinateurs. Le serveur peut fonctionner de manière autonome ou bien en collaboration avec le système d'information médical.

4.2.2 Poste patient

Le poste patient est situé au domicile, il comporte également plusieurs modules.

Un **module de communication avec le serveur** repose sur divers types de liaisons (modem téléphonique, ADSL, ISDN) et divers protocoles suivant les disponibilités locales.

Des **modules spécifiques** sont dédiés à l'acquisition des données.

Un **module de calcul** sert à l'analyse des données et à l'évaluation du patient. La prise de décisions en autonome (indépendamment de la connexion distante) et la génération d'alarmes de premier niveau suppose l'existence d'une base de données locale.

Un **module de présentation des données** (interface patient conviviale pour la présentation, et la saisie éventuelle, des données) peut reposer sur une large variété de matériels : écrans LCD, PC, assistant numérique personnel (PDA), télévision.

Le poste patient peut être une unité autonome ou bien une combinaison de dispositifs interconnectés.

4.2.3 Poste client

Le poste client est utilisé par les professionnels de santé pour accéder aux données du patient, pour ajuster la thérapie, pour visualiser les alarmes, pour échanger des messages avec les autres participants. Le poste client est constitué d'un module de communication et de modules de présentation.

Le **module de communication** permet de communiquer avec le serveur Web ; c'est typiquement un navigateur.

Les **modules de présentation** dépendent du type de client, de sa profession, de sa fonction dans le système, de sa spécialité.

Le poste client peut être implémenté sous diverses formes : ordinateur personnel, téléphone cellulaire portable, etc.

Dans les Techniques de l'Ingénieur :

CD-Rom Réseaux, mise à jour semestrielle.

Transmission des signaux numériques [E 7 100] de H. Sari

Systèmes numériques à haut débit du réseau d'accès [TE 7 105] de D. Battu

Protocoles de transmission de données [E 7 150] de G. Pujolle

Réseaux intelligents [TE 7 320] de S. Znaty

Technologie HomePNA [TE 7 385] de F. Duthilleul et T.-A. Nguyen

4.2.4 Module d'aide à la décision

Le module d'aide à la décision analyse l'impact de la thérapie sur le patient. Grâce à un échantillonnage plus fréquent que le suivi habituel (visites mensuelles chez le médecin, courts séjours hospitaliers), il permet une analyse plus fine, même si les données sont éventuellement moins fiables en valeur absolue (dans ce cas, c'est la « tendance » des données qui est importante). Il permet également une analyse de l'évolution globale et conjointe des divers paramètres liés au patient (fusion de données).

Ce module est en fait distribué entre le serveur et le poste patient afin de bénéficier d'un support, même en l'absence de connexion. Le poste patient effectue une validation des données et offre une interface pour l'information du patient. Le serveur effectue des traitements plus complexes sur les données : chaque fois qu'il reçoit de nouvelles données, il les analyse à la lumière des données antérieures (adaptation au patient) et en fonction de certaines règles pour déterminer des scénarios prédéfinis.

4.3 Déploiement du système d'information réparti

Le système d'information réparti peut être déployé suivant trois approches assez complémentaires : l'infocentre, le système transactionnel coopérant, la base de données répartie [37].

■ Dans l'**infocentre**, les données situées sur le site distant sont rapatriées sur le poste client, traitées localement et retransmises sur le site distant. Cette approche, très utilisée par le passé, occasionne des problèmes de gestion de cohérence en cas d'utilisation simultanée sur plusieurs sites. On peut alors adopter des stratégies de verrouillage des données qui limitent le parallélisme. En effet, plus le niveau de granularité du verrouillage est important, plus la cohérence est facile à assurer, mais plus le parallélisme est restreint. On peut toutefois adopter une stratégie de type client-serveur dans laquelle le programme local, client, lance des requêtes pour obtenir des données du serveur. La cohérence des données est facilement assurée puisque les traitements sont effectués sur le site où résident les données. Mais cela oblige évidemment de surdimensionner les capacités de traitement du site distant.

■ Issu de la nouvelle vague des langages orientés objets, le **système transactionnel coopérant** consiste en opérations d'interrogation et de mise à jour. On associe sur chaque site les données et les opérations (transactions) possibles. L'encapsulation des données et des traitements (transactions) est aisément implémentable par une approche par objets : une classe d'objets qui propose un ensemble de méthodes. Le nombre de transactions peut augmenter avec le temps. Mais il faut pouvoir identifier à la conception toutes les méthodes possibles pour accéder aux données (pour rajouter une méthode, il faut tout recommencer !). Les opérations sont réalisées soit sur le site local, soit sur le site distant.

■ L'approche **base de données répartie** propose un niveau d'abstraction global pour masquer à l'utilisateur la répartition physique des données. Ce système repose sur un système de gestion de base de

données répartie (SGBDR) qui maintient un catalogue des données disponibles sur chaque site. Lorsque le SGBDR reçoit une requête d'un utilisateur, il se charge de la découper en requêtes élémentaires, de les envoyer à chaque BD locale, de collecter les réponses individuelles et de recomposer la réponse.

5. Équipements domotiques

5.1 Capteurs

Les données permettant d'évaluer l'état de santé de la personne sont évidemment ses données physiologiques, mais elles sont utilement complétées par la détection de ses activités et postures, en même temps que le monitoring de son environnement.

5.1.1 Capteurs des données physiologiques

Les signes vitaux essentiels sont bien identifiés depuis longtemps par les médecins et la liste des signaux accessibles depuis le domicile n'est pas limitée [29] [38].

La **masse corporelle** est la variable qui se prête le plus aisément à une « automesure » ; les pese-personnes du commerce sont d'une utilisation bien connue. Si le patient souffre de certaines formes d'handicap mental ou physique, on peut envisager l'automatisation de la prise de cette information, par exemple en pesant la personne dans son lit [39] ou sur les toilettes [40].

La **température** centrale s'acquiert avec un simple thermomètre. Les dispositifs au mercure, lents, renferment une substance toxique et sont maintenant interdits et remplacés par leurs homologues électroniques qui mesurent le rayonnement infrarouge de la surface du tympan (thermomètres tympaniques) ou du fond de la bouche.

Les valeurs extrêmes de la **tension artérielle** (pressions systolique et diastolique) sont accessibles avec des dispositifs à brassard (sphygmomanomètres) qui se gonflent automatiquement. Ils nécessitent de respecter certaines conditions lors de la mesure (position de repos, compensation de la différence de hauteur entre le cœur et le site de mesure).

La **saturation en oxygène du sang** (oxymétrie) permet d'évaluer la qualité de la ventilation de manière non invasive. Le procédé optique de la mesure évalue l'opacité du sang aux extrémités des doigts, des orteils ou du lobe de l'oreille. Si cette valeur en instantané ne présente pas réellement de sens médical, son monitoring en continu, en particulier pendant le sommeil, peut permettre de détecter et de quantifier des anomalies telles que les variations excessives de fréquence cardiaque ou les apnées obstructives du sommeil qui engendrent une fatigue de l'appareil respiratoire et cardiaque.

Le **pouls**, ou fréquence cardiaque, s'obtient de plusieurs manières. À partir du signal électrique cardiaque (ECG) prélevé depuis 3 à 12 électrodes posées sur la peau, en des sites précis, on peut déterminer l'intervalle de temps séparant deux signaux typiques (complexes QRS). La période entre deux battements cardiaques est plus simplement mesurable sur le signal acoustique amplifié par un stéthoscope. Enfin, comme la fonction du cœur est de pousser périodi-

Dans les Techniques de l'Ingénieur :

Capteurs chimiques et biochimiques [P 360] de N. Jaffrezic-Renault, C. Martelet et P. Clechet

Capteurs et méthodes pour la localisation des robots mobiles

[S 7 852] de M.-J. Aldon

Microcapteurs de pression [R 2 070] de A. Boukabache,

P. Menini et P. Pons

Interfaces de localisation et de commande [TE 5 902] de P. Fuchs

Dans les Techniques de l'Ingénieur :

Ordonnancement temps réel. Ordonnancement réparti [S 8 056] de F. Cottet, J. Delacroix, C. Kaiser et Z. Mammeri

Systèmes d'exploitation temps réel : principe [R 8 050] de Y. Trinquet et J.-P. Elloy

Bases de données relationnelles [H 2 038] de C. Christment, J. Luguet, G. Pujolle et G. Zurfluh

Architecture des systèmes de gestion de bases de données [H 2 918] de J.-M. Thévenin et F. Viallet

Conception de bases de données : une méthode orientée objets et événements [H 3 248] de C. Rolland

Bases de données réparties [H 3 850] de C. Christment, G. Pujolle et G. Zurfluh

Dans les Techniques de l'Ingénieur :

Réseaux locaux
[H 1 418] de G. Rubino et L. Toutain

Systèmes numériques à haut débit du réseau d'accès [TE 7 105] de D. Battu

Standard pour réseaux sans fil : IEEE 802.11 [TE 7 375] de D. Trezentos

Bus CAN [S 8 140] de A. Rachid et F. Collet

Réseau Profibus
[S 8 160] de E. Bajic et B. Bouard

quement le sang chargé d'oxygène dans le système vasculaire périphérique, on peut remonter à la fréquence cardiaque soit en évaluant la distance entre les instants successifs des pressions artérielles systoliques et diastoliques (tensiomètre), soit entre les extremums du taux d'oxygénation du sang (oxymètre). Toutefois, le pouls instantané est rarement intéressant, sauf s'il dépasse ses limites inférieures (quelques battements par minute) ou supérieures (quelques battements par seconde). En revanche, son enregistrement en continu permet d'observer les fluctuations.

Bien d'autres capteurs, également disponibles dans le commerce, permettent d'accéder à d'autres paramètres plus spécifiques de certaines pathologies : glycémie chez les diabétiques (glucomètre), capacité respiratoire chez les asthmatiques (*peakflow meter*), etc.

5.1.2 Capteurs d'activité

Il s'agit soit de détecter les stationnements et les déplacements du sujet dans son environnement (référentiel externe), soit de détecter ses postures (référentiel interne) et des événements tels que la chute.

Le sujet peut être repéré par des détecteurs volumétriques qui mesurent le rayonnement infrarouge émis par la surface du corps ou bien qui détectent les ondes ultrasonores réfléchies. Dans le premier cas, seules des variations sont perçues donc un sujet immobilisé n'est plus détecté, ce qui n'est pas le cas des ondes ultrasonores. Il est à noter que la présence dans un endroit doit être confirmée par l'absence dans les autres volumes. Enfin, de simples détecteurs de passage aux portes (contacts) permettent aussi de localiser le sujet. L'installation de capteurs au sol permet de situer le sujet avec plus de précision (sols actimétriques) et de distinguer la présence d'un animal de compagnie.

Les postures corporelles (debout, penché ou allongé) peuvent être déterminées simplement avec un inclinomètre à bille (l'usage du mercure est maintenant prohibé), mais l'information délivrée par un accéléromètre à un ou plusieurs axes permet une plus grande précision sur l'inclinaison du corps, sa vitesse et son accélération [41] et permet même de détecter la chute du porteur [42]. Les sols actimétriques sont également très prometteurs en ce sens puisqu'ils permettraient de distinguer une personne debout ou allongée par une simple différence de surface occupée au sol.

5.1.3 Conditions environnementales

Il est enfin nécessaire de monitorer les grandeurs environnementales du domicile car ce sont les grandeurs d'influence sur les autres mesures, mais également parce qu'elles nous renseignent sur le mode de vie du sujet – la température dans les pièces (thermomètre), la pression atmosphérique (baromètre), l'humidité relative (hygromètre), la luminosité (luxmètre), le niveau de bruit (sonomètre) – ou d'éventuelles anomalies (variations brusques de température).

Certains paramètres d'environnement concernent également la sécurité du sujet : concentration en CO ou en d'autres gaz (détecteurs de gaz), feu (détecteur d'incendie).

5.1.4 Classification des capteurs

On peut opérer une classification des capteurs, comme précédemment au travers du type de données manipulées, ou bien encore selon le critère de mobilité qui sous-tend le choix du moyen de communication avec le capteur et la disponibilité du capteur, donc de sa fréquence d'échantillonnage. On peut encore classer les capteurs en terme de participation active ou passive du sujet, ce qui est une indication objective de l'intrusivité de la technologie.

5.2 Actionneurs et machines

Le système d'appartement intelligent peut aisément profiter des technologies existantes en domotique pour faciliter l'accomplissement de certaines tâches par la personne, par exemple, déverrouiller une porte en cas d'urgence, allumer ou éteindre les lumières, régler le niveau de chauffage.

De plus, des robots peuvent venir en aide à la personne pour effectuer certaines tâches journalières (*assistive robotics*). Ainsi, un bras manipulateur peut être monté soit sur une chaise roulante, soit sur un robot mobile, pour appuyer sur un bouton de commande, manipuler un levier de porte ou bien attraper un objet. Des tâches plus élaborées peuvent utilement être réalisées par ces robots aidants : préparer un repas ou faire le ménage [43], faire sa toilette [44]. Ces robots peuvent être téléguidés ou bien pilotés par la voix ou le geste [45].

Également, en fonction des pathologies, le système HIS devra prendre en compte des « machines thérapeutiques » : pousse-seringue, perfusion, machine de dialyse, mais aussi piluliers.

Il est à noter que ces machines embarquent leurs propres capteurs et peuvent également participer à la tâche d'acquisition de données.

5.3 Réseaux locaux

Les réseaux locaux font appel à des réseaux câblés domotiques (bus de terrain) ou bureautiques (Ethernet, USB) ; cependant, les réseaux sans fils (ISM868 MHz, IEEE 802.11 et Bluetooth) semblent évidemment promis à un plus grand avenir puisque, pour des bandes passantes équivalentes, ils ne nécessitent pas un câblage définitif et sont sans impact sur l'architecture interne du bâtiment.

Le critère de choix du réseau local est rarement uniquement celui de la bande passante disponible, parce que les données à transmettre ne sont qu'exceptionnellement à large bande. En revanche, on attend un service en temps réel, une prise en charge des collisions, une détection et une correction des erreurs pour ne pas rater l'occurrence d'une donnée vitale mais fugace.

5.4 Agents intelligents

Les agents (artificiels) intelligents sont des entités actives qui possèdent des facultés de perception, de raisonnement et d'action sur leur environnement. Dans le cas présent, ces agents sont chargés du monitoring et de l'assistance à distance de la personne.

Ils remplissent des rôles à divers niveaux du système : contrôle de la cohérence des informations,

Dans les Techniques de l'Ingénieur :

Explosimètres. Détecteurs de gaz [R 2 380] de A. Accorsi

Prévention des accidents électriques
[D 5 100] de R. Auber et C. Atlani

Robots mobiles miniatures [S 7 854] de J.-D. Nicoud

détection des modifications de l'état de santé de la personne, détection d'événements anormaux contextuels (alarmes), aide au diagnostic, aide à la prise en charge, aide à la planification thérapeutique. Ils sont également chargés des autotests du dispositif (*built in tests*).

5.4.1 Cohérence des données et tests intégrés

La validité des données doit être testée dès leur acquisition pour garantir la cohérence des valeurs et leurs relations temporelles.

Si la donnée appartient à un segment de valeurs, il suffit de vérifier que la mesure appartient bien à ce segment :

si $f(x)$ est la fonction de mesure de la variable x appartenant à l'intervalle $[a, b]$ alors $Valid(f(x))$, fonction de validité de la mesure, vaut 1 si $f(x)$ est dans l'intervalle $[a, b]$ et 0 sinon.

Dans le cas de données textuelles, soit elles appartiennent à un espace discret et il suffit de vérifier que la mesure appartient bien à ce domaine ($Valid(f(x)) = 1$ si la réponse appartient à la liste énumérée des réponses possibles), soit il s'agit de données textuelles libres et il faut alors faire appel aux technologies de reconnaissance de texte (IA).

5.4.2 Alarmes

La qualité principale que l'on peut attendre d'une alarme est de minimiser le délai entre l'apparition d'un symptôme et le déclenchement de l'intervention.

Mais si le recours à l'alarme semble évident, il l'est moins de savoir vers qui celle-ci sera envoyée. Selon le degré d'importance, on pourra prévenir un voisin ou un membre de la famille, ou bien le médecin s'il le souhaite, ou en cas de force majeure seulement, et sans délai, les pompiers ou le service d'aide médicale urgente (Samu).

Il y a donc lieu de développer une expertise afin de prendre la bonne décision au bon moment, ce pourquoi il semble donc assez évident d'avoir recours à un premier étage décisionnel situé dans un « centre de télésurveillance » assurant un service continu, avec du personnel formé.

5.4.3 Détection de signes avancés

Un des rôles des agents de détection est d'aider le médecin dans sa tâche de détection des symptômes apparaissant avant l'arrivée d'une pathologie.

Il y a un certain nombre de paramètres à disposition, mais la représentation de données brutes n'est ni conviviale, ni efficace ; il s'agit donc de les fusionner et de les présenter d'une manière telle que la situation soit plus aisément identifiable par le médecin.

De même, le monitoring du patient devra permettre d'informer l'équipe médicale sur tout comportement inhabituel (errance) et tout événement (chute).

5.5 Interfaces homme-machine

Il faut s'efforcer de fournir des interfaces adaptées à des utilisateurs inexpérimentés : sans être technophobes, les personnes âgées notamment ont plus de diffi-

culté à appréhender les aides techniques, et les interfaces mal pensées sont rapidement abandonnées.

Il faut évidemment adresser en tout premier lieu les problèmes liés aux diverses déficiences physiques : vision [46], ouïe, difficultés de communication langagière [47].

Les interfaces multimodales sont évidemment les mieux adaptées [48].

On peut recourir à tous les types d'interfaces (ordinateur individuel, assistant numérique personnel, téléphone cellulaire) mais les plus acceptables sont les plus habituels (téléviseur et télécommande).

5.6 Efforts de standardisation

Comme on l'a dit précédemment (§ 3), il existe de nombreux projets de R&D mais peu d'entre eux ont atteint le stade industriel et ont été commercialisés.

Une direction importante concerne la normalisation et la standardisation des solutions technologiques et organisationnelles avec pour objectif de réduire la complexité de la mise en œuvre et les coûts des équipements et de leur fonctionnement. Ce manque constitue évidemment un frein à la dissémination des solutions (problèmes d'interopérabilité).

Toutefois, des efforts ont été réalisés dans les domaines de la domotique et des systèmes d'information, en particulier depuis 1999 avec la création de plusieurs consortiums menés par certains grands industriels.

On peut citer le consortium UPnP, qui regroupe de grandes enseignes de l'électronique grand public, de la domotique, de la sécurité des biens et des télécommunications vers les mobiles. Le consortium UPnP vise à développer une connectivité simple entre des appareils divers et des ordinateurs individuels de diverses origines. Le maître mot est l'interopérabilité.

Le consortium OSGI, quant à lui, vise à définir et à faire adopter des spécifications ouvertes de services pour des réseaux domotiques et des réseaux embarqués dans les véhicules.

On trouve ensuite des initiatives dans le domaine des systèmes d'information avec le consortium Salutation, mené par IBM, qui développe une technologie permettant aux dispositifs voulant communiquer de s'identifier préalablement au travers de l'échange de « cartes de visites » qui leur permettent ensuite de proposer des services adaptés.

Une autre grande initiative en systèmes d'information est portée par la compagnie Sun : la technologie Jini Network Technology, basée sur la technologie Java du constructeur informatique, vise à offrir une plateforme de développement commune pour toutes les applications « interconnectées ».

6. Facteurs humains et éthique

Télésurveiller en réseau une personne, même pour des raisons médicales, n'est pas anodin [49]. Un certain nombre de questions sont soulevées par l'observation de la personne à travers « l'œil » des capteurs, la transmission des données d'observation à l'extérieur du domicile privé et l'utilisation de ces données par des tiers. De même faut-il veiller à

Dans les Techniques de l'Ingénieur :

Systèmes multiagents [S 7 216] de R. Mandiau et E. Grisclin-Le Strugeon
Traitement automatique de textes : techniques linguistiques [H 7 258] de C. Fabre

Universal Plug and Play (UPnP)

<http://www.upnp.org>

Open Services Gateway Initiative (OSGI)

<http://www.osgi.org>

Salutation Consortium

<http://www.salutation.org>

Jini Network Technology

<http://www.jini.org>

**Club des acteurs de
télémédecine CATEL**
<http://www.telemedecine.org>

Déclaration de l'Association médicale mondiale sur la surveillance des soins à domicile, la télémédecine et l'éthique médicale (1992)
http://www.wma.net/policy/17-35_f.html

Prise de position de l'Association médicale mondiale sur les responsabilités et les directives éthiques liées à la pratique de la télémédecine (1999)
http://www.wma.net/policy/17-36_f.html

maintenir l'équilibre entre les aspects aidants et des aspects contraignants et éviter les dérives potentielles auxquelles un appareillage de type « écoute » risque de conduire.

Ces questions doivent être abordées au cours de débats entre les divers intervenants (médecins, malades, associations de malades, aides sociaux, corps infirmier, sociétés de service technique, etc.) dans le cadre déjà actif de l'éthique médicale [50].

Elles s'appuient nécessairement sur l'ensemble des règlements et des directives existants. De même que les « services aux personnes à domicile » ont récemment fait l'objet d'une **norme** – la norme Afnor NF X50-056 – et d'un référentiel de certification [51], les technologies de maintien à domicile et de réseaux de soins devraient faire l'objet de normes et de principes de qualité. L'équipement du domicile par des capteurs et des actionneurs est d'ailleurs concerné par la **loi française** n° 98-389 du 19 mai 1998 relative à la responsabilité du fait des produits défectueux. Cette loi est fondée entre autres sur la **directive** 85/374/CEE du Conseil des Communautés européennes du 25 juillet 1985 relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres en matière de responsabilité du fait des produits défectueux.

7. Conclusion

La télémédecine porte la promesse d'un meilleur accès aux soins en même temps que d'une réduction des coûts. Cette idée est maintenant bien acceptée par l'opinion publique.

Mais il s'agit de savoir si les technologies de télésurveillance médicale au domicile permettront d'instaurer et de maintenir des conditions de sécurité et d'efficacité médicales comparables à celles dont aurait bénéficié la personne dans des institutions de santé (service hospitalier, clinique, maison de retraite médicalisée, etc.), quel sera le degré d'acceptation, voire d'adaptation, de la personne à son équipement et à sa télésurveillance médicale, et enfin comment s'établira l'équilibre entre deux exigences parfois opposées : celle de la sécurité d'un côté, celle de la liberté de l'autre côté. Il faut également se garder de développer une « médecine des riches » qui développerait une société en dessous du niveau de protection sanitaire minimum et amplifierait encore la « fracture numérique ». Une réflexion éthique sérieuse doit donc accompagner, voire encadrer, les

déploiements de la télémédecine pour les soins à domicile.

Cependant, à côté des aspects potentiellement dangereux, il est tout aussi important de mettre en relief les aspects éminemment positifs des technologies de maintien au domicile de personnes fragiles [49] [52]. Les personnes atteintes dans leur corps et leur vie familiale et sociale (handicapés, personnes à risque de chute, insuffisants rénaux dialysés, insuffisants cardiaques et respiratoires, etc.) connaissent un désarroi que des moyens techniques peuvent contribuer à alléger, d'une manière subsidiaire bien sûr par rapport à tous les autres moyens déjà existants.

Sur le plan technologique, ce domaine souffre actuellement d'une idée forte selon laquelle la médecine nécessite obligatoirement de hautes technologies. En particulier, les grands opérateurs et constructeurs de télécommunication tentent d'imposer leurs solutions technologiques sans bien comprendre les besoins réels.

Du point de vue scientifique et technique, de grandes avancées restent à accomplir dans le domaine des nouveaux signaux dont on pourrait disposer pour cerner au mieux l'état de santé mais également de « bien-être » de la personne. On imagine aussi que la contribution d'un grand nombre de « capteurs élémentaires », disséminés dans l'environnement de la personne, permettra d'aller vers une acquisition « ubiquitaire » des données (*ubiquitous sensing*). Ainsi, une direction scientifique à suivre se situe probablement dans l'approche fusion multicapteurs adoptée avec les capteurs intelligents (*smart sensors*) [53].

En ce qui concerne les systèmes domotiques, beaucoup de recherches s'intéressent aux logements neufs ; or, la plupart des personnes vivent dans des logements existants. Il est donc important que les recherches et les développements à venir s'orientent vers la production d'équipements pour ces logements.

Sur le plan industriel, l'habitat intelligent pour la santé constitue indéniablement un potentiel important, mais il se développe lentement. Le décollage de ce marché passe probablement par une meilleure prise en compte des besoins des utilisateurs de la part des concepteurs, une grande capacité d'innovation de tous les acteurs – sans forcément faire appel aux technologies de pointe –, des efforts importants pour développer le marché correspondant à ces innovations.

En conclusion, on ne manque pas de technologies pour la télémédecine, mais il manque encore un **modèle d'organisation** pour déployer utilement ces technologies et un **modèle économique** pour en assurer la viabilité.

Bibliographie

- [1] NOURY (N.). – *Système télématique pour l'organisation de l'hospitalisation à domicile*. Thèse de doctorat, université Joseph-Fourier, Grenoble (1992).
- [2] BROWNSSELL (S.J.), WILLIAMS (G.), BRADLEY (D.A.), BRAGG (R.), CATLIN (P.) et CARLIER (J.). – *Future systems for remote health care*. Jour. Telemedicine & Telecare, 5, 141-152 (1999).
- [3] VETEL (J.M.). – *Le logiciel AGGIR*. Revue Hospitalière de France, 1, 108 (1995).
- [4] KATZ (S.) et coll. – *Studies of Illness in the Aged. The Index of ADL. A Standardized Measure of Biological and Physiological Function*. Journal of American Medical Association, 185, 914 (1963).
- [5] KATZ (E.), DOWNS (T.D.), CASH (H.R.) et GROTZ (R.C.). – *Index of independence in activities of daily living*. Gerontologist, Part 1, 20-30 (1970).

- [6] HAIGH (K.Z.) et YANCE (H.A.). – *Automation as caregiver : a survey of issues technologies*. Proc. AAAI Workshop (2000).
- [7] RIALLE (V.), DUCHÈNE (F.), NOURY (N.), BAJOLLE (L.) et DEMONGEOT (J.). – *Health 'Smart' Home : information technology for patients at home*. Telemedicine Journal and E-Health, 8, 4, 395-409 (2003).
- [8] TAMURA (T.), TOGAWA (T.) et MURATA (M.). – *A bed temperature monitoring system for assessing movement during sleep*. Clinical Physics and Physiological Measurement, 9, 139-145 (1988).
- [9] YAMAGUCHI (A.), OGAWA (M.), TAMURA (T.) et TOGAWA (T.). – *Monitoring behaviour in the home using positioning sensors*. Proc. 20th IEEE conference on engineering in Medicine and Biology, 1977-79 (1998).
- [10] OGAWA (M.) et TOGAWA (T.). – *Attempt at Monitoring Health Status in the Home*. Proc. 1st Int IEEE-EMBS Special Topics Conf. on Microtechnol. in Med. and Biol., 552-556 (2000).
- [11] INADA (H.), HORIO (H.), SEKITA (Y.), ISIKAWA (K.) et YOSHIDA (K.). – *A study on a home care support information system*. Proc. of the 7th world congress on Medical Informatics, 349-353 (1992).
- [12] NOURY (N.) et PILICHOWSKI (P.). – *A telematic system tool for home health care*. 14th Annual Intern. Conference of the IEEE-EMBS, part 3/7, 1175-1177 (1992).
- [13] RICHARDSON (S.J.), POULSON (D.F.) et NICOLLE (C.). – *Supporting independent living through adaptable smart home (ASH) technologies*. Human welfare and technologies : papers from the human service information technology applications (HUSITA) conference on information technology and the quality of life and services, 87-95 (1993).
- [14] RICHARDSON (S.J.), POULSON (D.F.) et NICOLLE (C.). – *User requirements capture for adaptable smarter home technologies*. Rehabilitation Technology : Proc. of the 1st TIDE congress, 244-248 (1993).
- [15] ALYFUKU (K.) et HIRUTA (Y.). – *Networked health care and monitoring system*. US Patent 5 410 471 (1993).
- [16] CELLER (B.G.), EARNSHAW (W.), ILSAR (E.D.), BETBEDER-MATIBET (L.), HARRIS (M.F.), CLARK (R.), HESKETH (T.) et LOVELL (N.H.). – *Remote monitoring of the health status of the elderly at home, a multidisciplinary project on aging at the University of New South Wales*. International Journal of Biomedical Computing, 40, 147-155 (1995).
- [17] CHAN (M.), HARITON (C.), RINGEARD (P.) et CAMPO (E.). – *Smart House automation system for the elderly and the disabled*. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1586-1589 (1995).
- [18] CHAN (M.), BOCQUET (H.), CAMPO (E.), VAL (T.) et POUS (J.). – *Alarm communication network to help carers of the elderly for safety purposes : a survey of a project*. International Journal of Rehabilitation Research, 22, 131-136 (1999).
- [19] STEENKESTE (F.), BOCQUET (H.), CHAN (M.) et CAMPO (E.). – *La mise en place d'une technologie pour observer le comportement nocturne des personnes âgées en institution*. Innovation and Technology in Biology and Medicine – Revue of Biomedical Engineering (ITBMRBM), 22, 25-30 (2001).
- [20] ROTH (A.), CARTHY (Z.) et BENEDEK (M.). – *Telemedicine in emergency home care – the « Shahal » experience*. J. Telemed Telecare, 3, 58-60 (1997).
- [21] LEIKAS (J.), SALO (J.) et PORAMO (R.). – *Security alarm system support independent living of demented persons*. Proc. Gerontechnology 2nd international Conference, 402-405 (1998).
- [22] MOZER (M.C.). – *The neural network house : an environment that adapts to its inhabitants*. AAAI Spring Symposium on Intelligent Environments, 110-114 (1998).
- [23] WILLIAMS (G.), DOUGHTY (K.) et BRADLEY (D.A.). – *A system approach to achieving CarerNet – an integrated and intelligent telecare system*. IEEE Transaction on Information Technology in Biomedicine, 2, 1-9 (1998).
- [24] WILLIAMS (G.), DOUGHTY (K.) et BRADLEY (D.A.). – *Distributed intelligent nodes as information filters in advanced telecare systems*. Proc. 21st Ann. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (1999).
- [25] DOUGHTY (K.), ISAK (R.), KING (P.J.), SMITH (P.) et WILLIAMS (G.). – *MIDAS – Miniature Intelligent Domiciliary Alarm System – a practical application of telecare*. Proc. 1st Joint BMES/EMBS Conf. Serving Humanity, Advancing Technology (1999).
- [26] ELGER (G.) et FURUGREN (B.). – *SmartBo – An ICT and computer-based demonstration home for disabled people*. Proc. 3rd TIDE Congress : Technology for Inclusive Design and Equality Improving the Quality of Life for the European Citizen (1998).
- [27] BONNER (S.G.). – *Assisted Interactive Dwelling HOUSE*. Proc. 3rd TIDE Congress : Technology for Inclusive Design and Equality Improving the Quality of Life for the European Citizen, Helsinki, Finlande (1998).
- [28] VAN BERLO (A.). – *A « smart » model house as research and demonstration tool for telematics development*. Proc. 3rd TIDE Congress : Technology for Inclusive Design and Equality Improving the Quality of Life for the European Citizen (1998).
- [29] SIXSMITH (A.J.). – *An evaluation of an intelligent home monitoring system*. J. Telemed. Telecare, 6, 63-72 (2000).
- [30] GLASCOCK (A.P.) et KUTZIK (D.M.). – *Behavioral telemedicine : a new approach to the continuous non intrusive monitoring of activities of daily living*. Telemedicine Journal, 6(1), 33-44 (2000).
- [31] KUTZIK (D.M.), GLASCOCK (A.P.), CHUTE (D.L.), HEWETT (T.T.) et HORNUM (B.G.). – *System for generating periodic reports, generating trend analysis and intervention in accordance with trend analysis from a detection subsystem for monitoring daily activity*. US patent n° 5 692 215 (nov. 1997).
- [32] NOURY (N.), HERVÉ (T.), RIALLE (V.) et VIRONE (G.). – *Monitoring Behavior in Home Using a Smart Fall Sensor and Position Sensors*. Proc. IEEE-EMBS Microtechnologies in Medicine & Biology, 607-610 (2000).
- [33] RIALLE (V.), NOURY (N.) et HERVÉ (T.). – *An experimental Health Smart Home and its distributed Internet-based Information and Communication System : first steps of a research project*. Medinfo 2001 (2001).
- [34] MAGLAVERAS (N.), KOUTKIAS (V.), MELETIADIS (S.), CHOUVARDA (I.) et BALAS (E.A.). – *The Role of Wireless Technology in Home Care Delivery*. Medinfo 2001, Londres (2001).
- [35] KIDD (C.D.), ORR (R.), ABOWD (D.), ATKESSON (C.G.), ESSA (I.A.), MACINTYRE (B.), MYNATT (E.), STARNER (T.E.) et NEWSTETTER (W.). – *The Aware Home : A Living Laboratory for ubiquitous computing research*. Proc. 2nd International Workshop on Cooperative Buildings – CoBuild'99 (1999).
- [36] KAUTZ (H.), ARNSTEIN (L.), BORIello (G.), ETZIONI (O.) et FOX (D.). – *An overview of the assisted cognition project*. Proc. AIII Workshop « Automation as caregiver » (2002).
- [37] ATTAQOUI (A.). – *Les systèmes multi-agents et le temps réel*. Eyrolles (1997).
- [38] DITTMAR (A.). – *Les capteurs à distance et la télé-surveillance*. E-Santé : médecine de pointe, médecine de proximité, 23-24 janv. 2002, faculté de médecine de Lille, pp. 90-97 (2002).
- [39] NEUMAN (E.). – *Weighing device for bedridden patients*. European Patent 0 854 357 A1 (1998).

- [40] DE CANECAUDE (E.). – *Device for weighing individuals on WC seat*. Internat. Patent W085 04472 (1985).
- [41] DEPEURSINGE (Y.). – *Device for monitoring the activity of a person and/or detecting a fall....* US patent n° 6 201 476 B1 (mars 2001).
- [42] NOURY (N.). – *Détecteur de chute d'une personne*. Brevet français 01/12046 (2001).
- [43] DALLAWAY (J.L.), JACKSON (R.D.) et TIMMERS (P.H.). – *Rehabilitation robotics in Europe*. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 3(1), 35-45 (1995).
- [44] TOPPING (M.). – *The development of Handy 1, a robotic system to assist severely disabled*. Proc. ICORR'99 : the International Conference on Rehabilitation Robotics, 244-249 (1999).
- [45] KAZI (Z.), CHEN (S.), BEITLER (M.), CHESTER (D.) et FOULDS (R.). – *Speech and gesture mediated intelligent teleoperation*. Mittal et coll., 194-210.
- [46] ARDITI (A.). – *Effective color contrast : designing for people with partial sight and color deficiencies*. Technical report, Lighthouse international (1999).
- [47] MCCOY (K.F.). – *Interface and language issues in intelligent systems for people with disabilities*. Mittal et coll., pp. 1-11.
- [48] VALLÈS (M.), MANSO (F.), ARREDONDO (M.T.) et DEL POZZO (F.). – *Multimodal environmental control system for elderly and disabled people*. Proc. IEEE-EMBS, 516-517 (1996).
- [49] RIALLE (V.). – *La santé par des capteurs au domicile : entre meilleur des mondes et opportunités de solidarités nouvelles*. Cahiers du groupe sujet : Théorie et Praxis, Maison des sciences de l'homme, 7-23 (2002).
- [50] HERVÉ (C.). – *Éthique, Politique et Société : vers une politique de santé publique*. Presses Universitaires de France (2000).
- [51] DETOLLE (J.). – *La norme NF X50-056 et le règlement de certification NF 311, un référentiel pour les « Services aux personnes à domicile »*. Lettre GERIAPA : Groupement d'étude, de recherche et d'initiative pour l'aide aux personnes âgées (2002).
- [52] WILLIAMS (G.), DOUGHTY (K.) et BRADLEY (D.A.). – *Safety and risk issues in using telecare*. Technology in Healthcare, 6, 249-262 (2000).
- [53] NOURY (N.). – *Du signal à l'information : le capteur intelligent. Exemples industriels et en médecine*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches (avril 2002). <http://bibliotheque.imag.fr/bibliotheque/collectionselectroniques/publications/theses/2002>
- FUCHS (P.). – *Interfaces de localisation et de commande*. [TE 5 902], traité Télécoms (2002).
- SARI (H.). – *Transmission des signaux numériques*. [E 7 100], traité Télécoms (1995).
- BATTU (D.). – *Systèmes numériques à haut débit du réseau d'accès*. [TE 7 105], traité Télécoms (2002).
- TREZENTOS (D.). – *Standard pour réseaux sans fil : IEEE 802.11*. [TE 7 375], traité Télécoms (2002).
- ZNATY (S.). – *Réseaux intelligents*. [TE 7 380], traité Télécoms (2000).
- PUJOLLE (G.). – *Protocoles de transmission de données*. [E 7 150], traité Télécoms (1997).
- DUTHILLEUL (F.) et NGUYEN (T.-A.). – *Technologie HomePNA*. [TE 7 385], traité Télécoms (2003).
- COTTET (F.), DELACROIX (J.), KAISER (C.) et MAMMERI (Z.). – *Ordonnancement temps réel. Ordonnancement réparti*. [S 8 056], traité Informatique industrielle (2000).
- TRINQUET (Y.) et ELLOY (J.-P.). – *Systèmes d'exploitation temps réel*. [R 8 050], traité Informatique industrielle (1999).
- RUBINO (G.) et TOUTAIN (L.). – *Réseaux locaux*. [H 1 418], traité Informatique (1998).
- CHRISMENT (C.), LUGUET (J.), PUJOLLE (G.) et ZURFLUH (G.). – *Bases de données relationnelles*. [H 2 038], traité Informatique (1997).
- THÉVENIN (J.-M.) et VIALLET (F.). – *Architecture des systèmes de gestion de bases de données*. [H 2 918], traité Informatique (1996).
- ROLLAND (C.). – *Conception de bases de données : une méthode orientée objets et événements*. [H 3 248], traité Informatique (1996).
- CHRISMENT (C.), PUJOLLE (G.) et ZURFLUH (G.). – *Bases de données réparties*. [H 3 850], traité Informatique (1993).
- FABRE (C.). – *Traitement automatique de textes : techniques linguistiques*. [H 7 258], traité Informatique (2001).
- JAFFREZIC-RENAULT (N.), MARTELET (C.) et CLECHET (P.). – *Capteurs chimiques et biochimiques*. [P 360], traité Analyse et Caractérisation (1994).
- MANDIAU (R.) et GRISCLIN-LE STRUGEON (E.). – *Systèmes multiagents*. [S 7 216], traité Informatique industrielle (2002).
- ALDON (M.-J.). – *Capteurs et méthodes pour la localisation des robots mobiles*. [S 7 852], traité Informatique industrielle (2001).
- NICOUD (J.-D.). – *Robots mobiles miniatures*. [S 7 854], traité Informatique industrielle (2000).
- RACHID (A.) et COLLET (F.). – *Bus CAN*. [S 8 140], traité Informatique industrielle (2000).
- BAJIC (E.) et BOUARD (B.). – *Réseau Profibus*. [S 8 160], traité Informatique industrielle (2002).
- BOUKABACHE (A.), MENINI (P.) et PONS (P.). – *Microcapteurs de pression*. [R 2 070], traité Mesure et Contrôle (2001).
- ACCORSI (A.). – *Explosimètres. Détecteurs de gaz*. [R 2 380], traité Mesure et Contrôle (1994).
- AUBER (R.) et ATLANI (C.). – *Prévention des accidents électriques*. [D 5 100], traité Génie électrique (1996).

Dans les Techniques de l'Ingénieur

- FILLOUX (A.). – *De la construction intelligente vers l'urbatisme*. [C 3 780], traité Construction (1997).
 - FILLOUX (A.). – *Domotique*. [C 3 781], traité Construction (1997).
 - FILLOUX (A.). – *Immotique*. [C 3 782], traité Construction (1997).
- Réseaux. CD-Rom, mise à jour semestrielle.