

Revue générale

Nouvelles directions en habitats intelligents pour la santé

New trends in health smart homes

N. Noury *, G. Virone, J. Ye, V. Rialle, J. Demongeot

Laboratoire TIMC-IMAG-CNRS 5525, faculté de médecine de Grenoble, 38706 La Tronche, France

Reçu le 16 décembre 2002 ; reçu en forme révisée le 22 janvier 2003 ; accepté le 10 mars 2003

Résumé

Le concept d'habitat intelligent pour la santé vise à redonner une vie autonome, dans leur domicile, à des personnes qui sinon devraient être placées en institution spécialisée : patients souffrant de certaines maladies chroniques, handicapés, mais aussi personnes âgées dépendantes. Cet article propose un état de l'art du concept des habitats intelligents pour la santé. Il présente ensuite les principales démarches menées dans tous les domaines technologiques qui sont concernés — systèmes d'informations, équipements domotiques, capteurs ubiquitaires, assistance robotisée — en même temps qu'il expose les essais de standardisation menés par quelques gros consortiums, et enfin quelques pistes de réflexions éthiques.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

The concept of health smart house aims at giving an autonomous life, in their own home, to people who would normally be placed in institutions: patients suffering from chronic diseases, handicapped people, but also fragile elderly. This article proposes an overview of the research on the concept. It then presents the main trends in each the technological fields of concern — information systems, home automations, ubiquitous sensors, robotic assistance — it indicates the standardisation efforts lead by some large consortiums, and the ethical point of view.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Télésurveillance médicale ; Domotique ; Maison intelligente ; Assistances techniques ; Systèmes d'informations

Keywords: Medical monitoring; Home automation; Smart homes; Assistive technologies; Information systems

1. Introduction

Le concept d'habitat intelligent pour la santé vise à redonner une vie autonome, dans leur domicile, à des personnes souffrant de diverses pathologies et handicaps 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 développement d'une population plus âgée. 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 réorga-

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : Norbert.Noury@imag.fr (N. Noury).

niser 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, provoquera également une pénurie en personnels qualifiés. Pour rendre attractifs les métiers aux services des 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. Devenue plus fragile, elle peut faire l'objet de maltraitances ou même avoir des tendances suicidaires. Une étude canadienne menée sur 2000 aînés relève un taux de 4 % de sujets ayant été victimes de ces violences [1], ce qui est confirmé par le rapport de l'Organisation mondiale de la santé qui avance le chiffre de 6 % des personnes âgées concernées par ces mauvais traitements [2]. Près de 3000 personnes de plus de 65 ans se sont suicidées en 1998 en France [3].

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. Définition des 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 niveau de soins équivalent à celui dispensé en institution en termes 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 très longtemps [4,5]. Il est maintenant largement 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'évolution de l'état de santé.

Le concept d'habitats intelligent en 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 entre eux, et secondariser intelligemment les occupants dans l'accomplissement des tâches journalières et répétitives. Dans le cas du suivi médicale 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 » [6], les *Activity of Daily Living* (ADL) [7,8]), 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 ont récemment tenté de faire un 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 [9,10]. Nous citons ici ceux qui ont en commun le recours à un monitoring passif pour détecter des comportements et déclencher des alarmes.

Togawa et al. furent parmi les premiers à monitorer les activités journalières du sujet (heures de coucher, de toilettes, de prise de repas) en même temps que certains paramètres physiologiques [11–13]. Les données collectées sont transmises au personnel en charge, aucune alarme n'est déclenchée.

Inada et al. ajoutent la possibilité de mettre en contact la personne avec l'équipe de secours [14]. En plus des variables physiologiques et des activités physiques, le système enregistre des informations plus subjectives.

Noury 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 [15].

Richardson 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 [16,17]. Il rend ainsi les dispositifs plus faciles à utiliser et plus aidants.

Alyfuku et Hiruta ont déposé un brevet sur le monitoring passif de la personne [18].

Celler et al. mesurent le comportement et l'état de santé de la personne à partir de 18 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) [19]. Tous ces capteurs sont interconnectés sur un réseau Échelon Lonworks et les données sont automatiquement transmises par modem vers un centre de télésurveillance pour y être traitées en différé.

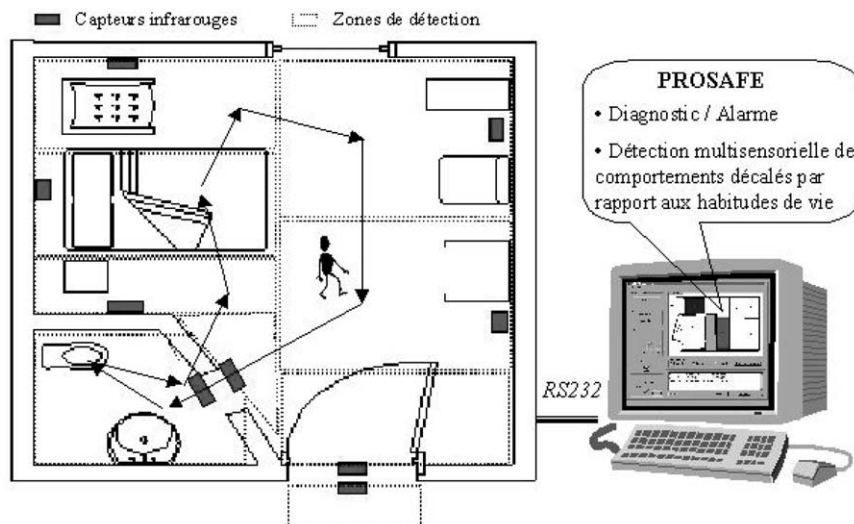


Fig. 1. La chambre hospitalière intelligente du CHU de Toulouse. La surface est divisée en plusieurs zones fonctionnelles à l'aide de capteurs volumétriques fixés au plafond (reproduction avec l'aimable autorisation de Éric Campo — LAAS Toulouse).

Chan, Campo et Steenkeste au CHU de Toulouse, divisent la surface de leur chambre hospitalière en plusieurs zones fonctionnelles, à l'aide de capteurs volumétriques (Fig. 1) [20–22]. Ils peuvent ainsi monitorer précisément l'environnement du patient et par un apprentissage par réseau de neurone, ils parviennent à détecter de manière automatique certains événements tels que des sorties de lits, des fuites du patient et également comptabiliser les visites de l'infirmière [23] (Fig. 2).

Roth et al. décrivent l'expérience « Shahal » de télésurveillance de malades cardiaques à domicile [24]. Un enregistreur au domicile permet la transmission d'un ECG à 12 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 al. décrivent un système pour le monitoring des personnes démentes à domicile en utilisant de simples contacts de portes [25].

Mozar 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 [26]. Il ne prend pas en compte de paramètres physiologiques.

Williams et Doughty ont développé, dans le cadre du projet « Carernet », une architecture générique de système d'information qui a été implémentée dans le projet « Midas » [27–29]. 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 » utilisant la synthèse artificielle de parole.

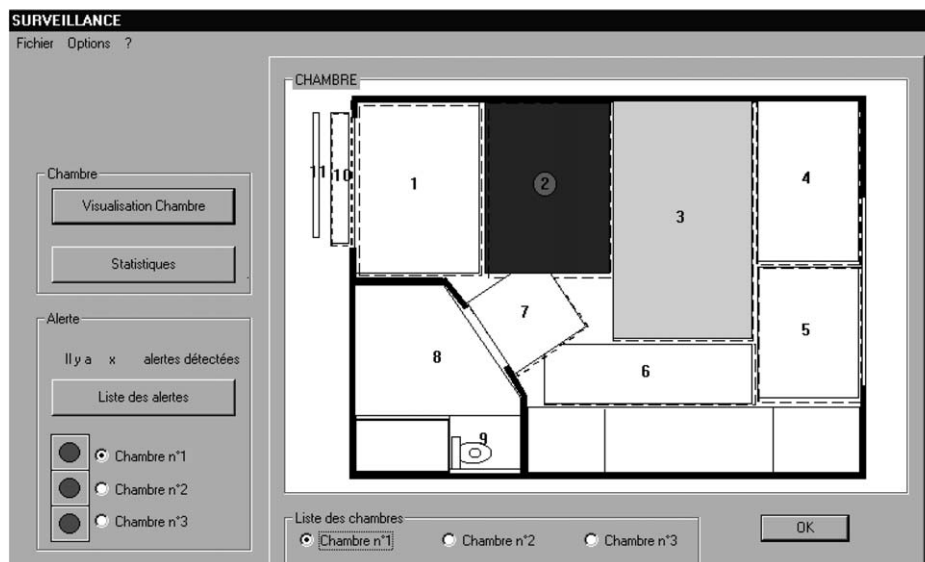


Fig. 2. La chambre hospitalière intelligente du CHU de Toulouse. Un système d'analyse à partir d'un réseau de neurones analyse les déplacements : ici le patient est allongé sur son lit (3) et un visiteur se tient à son chevet (2) (Source : [23]).

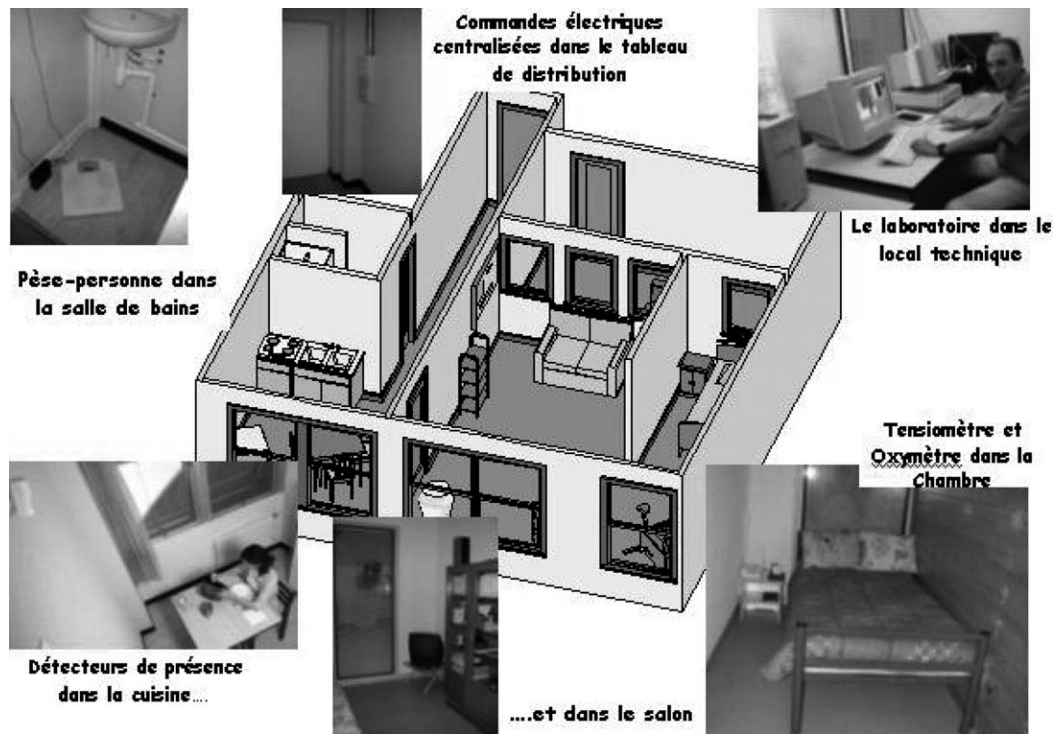


Fig. 3. Le dispositif « habitat intelligent pour la santé », à la faculté de médecine de Grenoble, effectue le monitoring des déplacements de la personne grâce aux capteurs volumétriques disséminés dans chacune des pièces. Il enregistre également les variables vitales de poids, pressions artérielles, pouls, taux d'oxygénation, et des variables de l'environnement telles que la température, l'hygrométrie, la luminosité ou le niveau sonore.

Elger met l'accent sur l'assistance technique aux personnes à mobilité réduite, ou ayant des déficiences visuelles, auditives ou cognitives [30]. Le démonstrateur « SmartBo » a été installé dans un appartement ordinaire pour en démontrer la simplicité.

Bonner 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 [31].

Van Berlo prend en compte les 71 recommandations du label *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 [32].

Sixsmith 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'alertes [33]. Ce système, évalué sur 22 appartements, fut bien accepté par les personnes âgées comme par les aidants.

Glascok et Kutzik détectent automatiquement les ADL, sans déclenchement d'alarme, les données sont traitées en différé [34]. Leur brevet couvre aussi la possibilité de générer un signal de contrôle à partir de l'observation des signaux.

Noury et Rialle ont construit au sein de la faculté de médecine de Grenoble un véritable appartement appelé « habitat intelligent pour la santé » (HIS) [35,36]. Dans cet appartement circule un réseau domotique sur lequel sont connectés divers capteurs et actionneurs (Fig. 3) qui coopèrent entre eux et avec un système d'information reposant sur

les technologies Internet et Java. L'architecture mise en place permet de mettre en réseau plusieurs « habitats intelligents pour la santé (HIS) », recueillir les variables physiologiques et d'activité de la personne, détecter des scénarios de situations anormales ou de crises à l'aide d'un système distribué à base d'agents intelligents (Fig. 4), et agir sur l'environnement du domicile [37].

Maglaveras a développé, dans le cadre d'un projet européen, l'architecture générique du système *Citizen Healthcare System (CHS)*, en s'appuyant sur les technologies de programmation orientées objets, les réseaux locaux sans fil, et les standards d'échanges de dossiers électroniques médicaux (Dicom, SCP-ECG) [38].

Plus récemment, les grands laboratoires de recherche et les industriels de dimensions internationales se sont intéressés à ce domaine et proposent leurs propres projets : le *Georgia Tech Institute (Aware House)* [39], le MIT (*MIT's House of the future*) [40], l'université de Washington (*Assistive Cognition*) [41], la compagnie Honeywell (*Independent LifeStyle Assistant (Ilsa)*), l'université de Rochester-NY, au sein du projet *Center for Future Health* [42] met en réseau des caméras vidéo et des PDA dans toutes les pièces du logement pour interagir de manière ubiquitaire avec les occupants (Fig. 5).

Mais parmi tous ces projets, bien peu ont effectivement été évalués chez les personnes âgées [16,25,33], et encore moins sont arrivés au stade commercial (Vigil [43], Sincere Kourien au Japon).

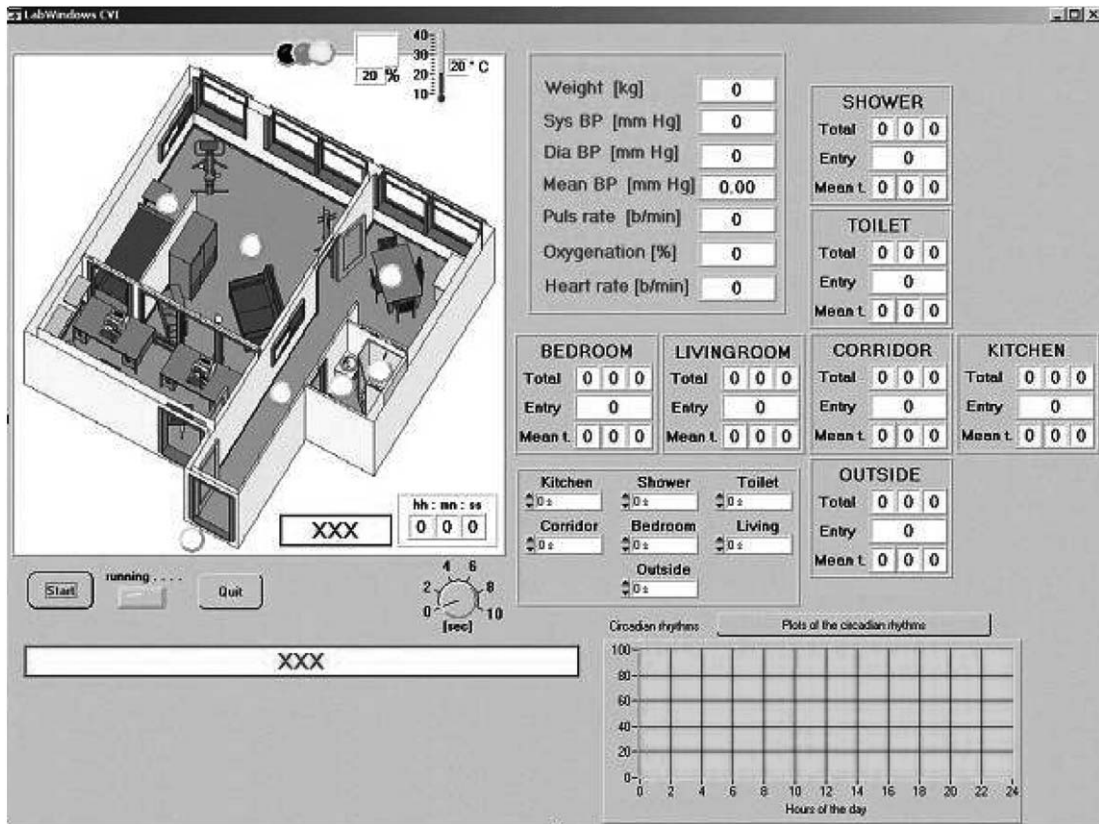


Fig. 4. Le système d'information de l'HIS grenoblois analyse en temps réel les données issues des capteurs et cherche à établir un profil type du sujet afin de détecter des écarts au modèle.

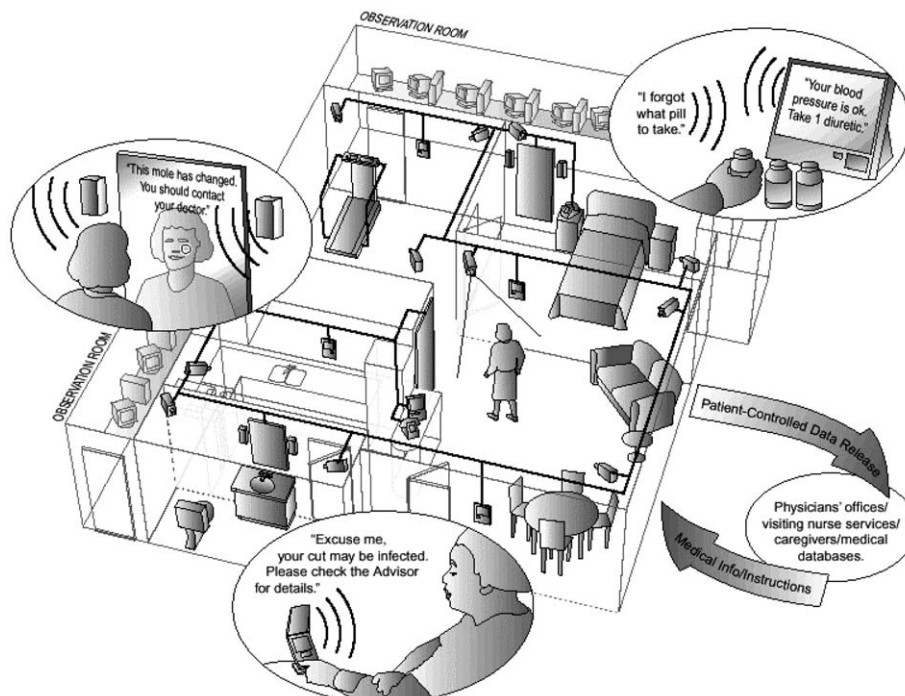


Fig. 5. Le projet « Center for Future Health » de l'université de Rochester-NY : un réseau de caméras vidéo et de PDA dans toutes les pièces du logement permet d'interagir de manière ubiquitaire avec les occupants.

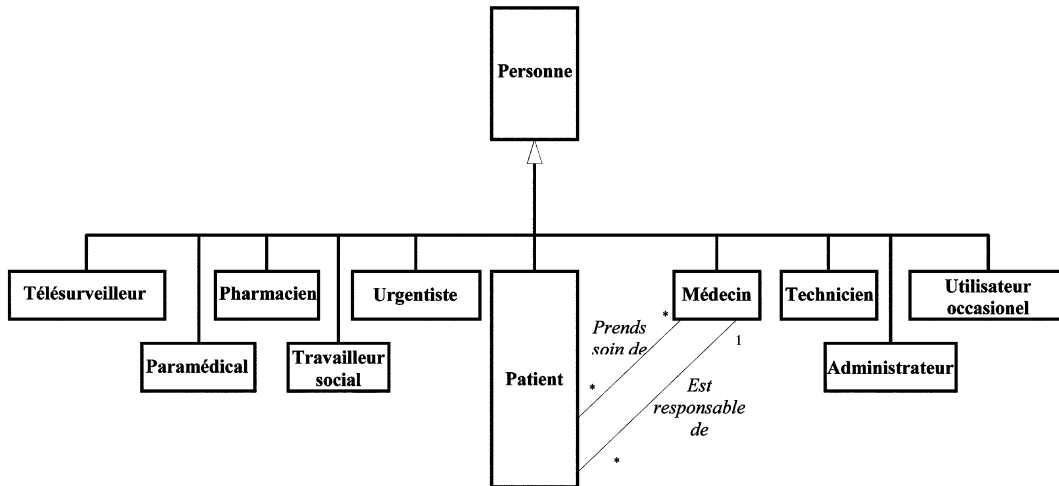


Fig. 6. Les différents acteurs du système de télémédecine sont des indentations de la même classe « personne ». Il existe une relation fonctionnelle particulière entre le médecin et son patient.

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 *Unified Modelling Language* (UML).

4.1. Acteurs, données et cas d'utilisation

Le système regroupe des d'acteurs à domicile (Fig. 6) : le

patient lui-même, les producteurs de soins (médecins hospitaliers, médecins de ville, infirmières et aides-soignants), les pharmaciens, les laboratoires d'analyses biologiques et de radiographies, les télé-opérateurs (service 24h/24), les travailleurs sociaux (assistante sociale, aide-ménagère, service de livraison des repas), 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 (Fig. 7) : l'identification dans le système, la consultation des dossiers médicaux, la rédaction ou la consultation des prescriptions, l'écriture et la lecture des paramètres. Les acteurs

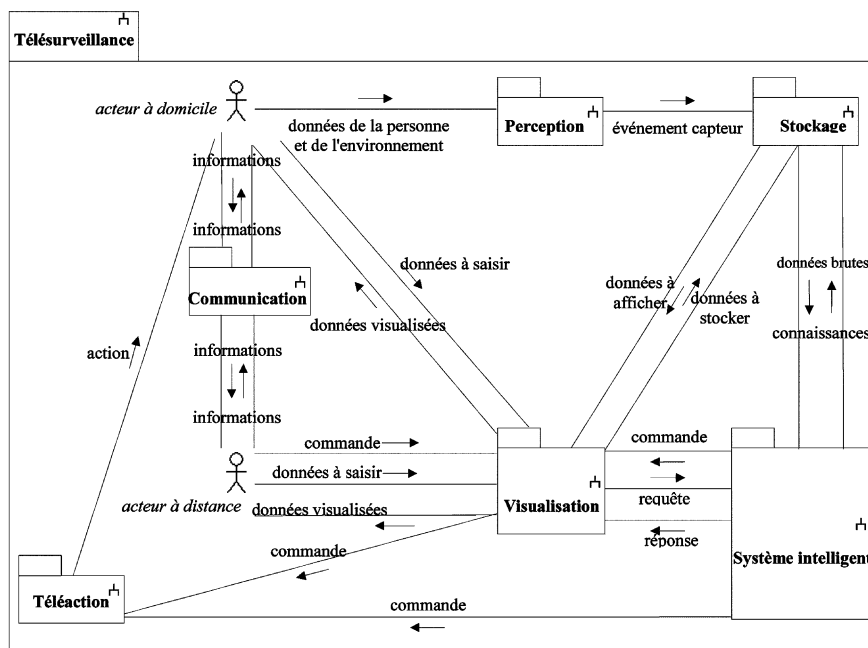


Fig. 7. Modèle dynamique du système de télésurveillance : l'acteur à domicile, qui peut être le patient ou bien un intervenant, communique des informations qui sont déposées dans une base de données. L'acteur distant, qui peut être un médecin hospitalier, le médecin traitant ou encore un proche du patient, effectue des requêtes au système intelligent qui se charge de retrouver dans la base de données les données pertinentes et de les mettre en forme pour les visualiser à l'utilisateur. Une interaction directe entre l'acteur domicile et l'acteur à distance peut s'effectuer par le moyen d'une visiophonie.

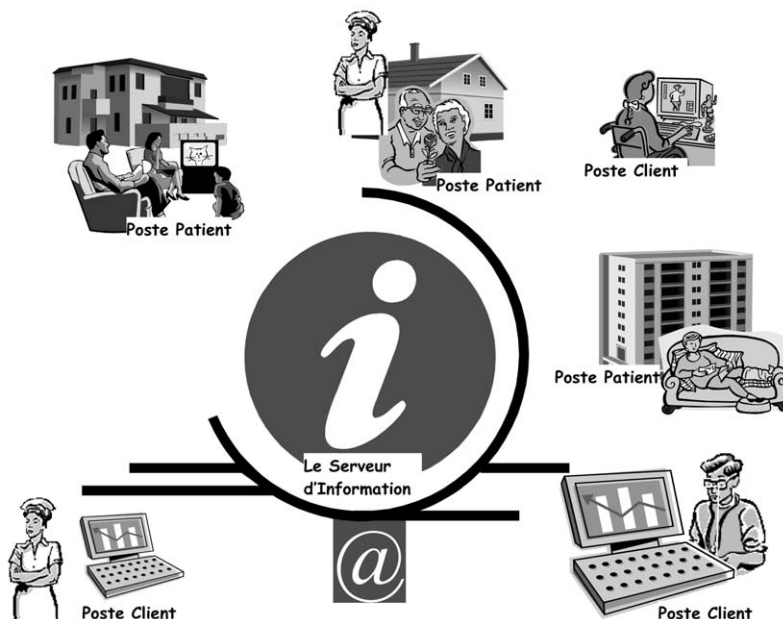


Fig. 8. Architecture logique du système d'information : le serveur d'information est constitué d'un serveur de communication sur Internet, d'une base de données et d'un module de décision. Les postes patients situés aux domiciles permettent l'acquisition des données, les communications avec le serveur et la prise de décisions de premier niveau. Les postes clients communiquent avec le serveur Internet pour émettre des requêtes vers le système gestionnaire de base de données répartie (SGBDR).

au domicile (soignants, travailleurs sociaux) peuvent être amenés à ajouter des notes d'intervention. Les administrateurs ont leur propres cas d'utilisations (mise à jour de logiciels et de matériels, modifications des paramètres).

Enfin divers types de données sont identifiées : 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'actions 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.

4.2. Architecture logique

Le système d'information comprend des postes patients (système domotique), un serveur, et des postes clients (Fig. 8).

4.2.1. Serveur

Le serveur est constitué d'une base de données, d'un serveur de communication (serveur Internet) 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 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 les modules suivants :

- 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 pour l'acquisition des données ;
- un module de calcul pour l'analyse des données, l'évaluation du patient, la prise de décisions en autonome (indépendamment de la connexion distante) et la génération d'alarmes de premier niveau. Cela 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. Il peut reposer sur une large variété de matériels : écrans LCD, PC, Palm Top, TV.

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 patients, 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 Internet, c'est typiquement un navigateur (Netscape,...) ;
- le module de présentation dépend 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.

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 en hospitalisation), il permet une analyse plus fine, même si les données sont éventuellement moins fiables en valeurs absolues (dans ce cas c'est la « tendance » des données qui nous intéresse). Il permet également une analyse de l'évolution globale et conjointe des divers paramètres patients (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 des nouvelles données, il les analyse à la lumière des données antécédentes (adaptation au patient) et en fonction de certaines règles pour déterminer des scénarios prédéterminés. Ce module pourrait lui même devenir un agent intelligent d'un système d'analyse épidémiologique en temps réel.

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 [44].

Dans l'approche « infocentre » les données situées sur le site distant, sont rapatriées sur le poste client, traitées localement, et retransmises sur le distant. Cette approche, très utilisée par le passé, occasionne des problèmes de gestion de cohérence en cas d'utilisation simultanée sur plusieurs sites. Des stratégies de verrouillage des données qui limitent le parallélisme peuvent alors être adoptées. En effet, plus le niveau de granularité du verrouillage est important, plus la cohérence est facile à assurer, mais plus le parallélisme est restreint. Une stratégie de type « client-serveur » dans laquelle le programme local « client » lance des requêtes pour obtenir des données du serveur peut toutefois être adoptée. 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.

Issue de la nouvelle vague des langages orientés objets, l'approche transactionnelle coopérant consiste en opérations d'interrogation et de mise à jour. Les données et les opérations (transactions) possibles sont associées sur chaque site. L'encapsulation des données et des traitements (transactions) est aisément implémentable par une approche objet : 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 (BD) 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 réparti » (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 pour le domicile

L'équipement du domicile peut être appréhendé suivant le modèle du corps humain qui met en œuvre une architecture d'intelligence distribuée. Des fonctions sensorielles (« affecteurs » : capteurs), d'actions et de réactions (« effecteurs » : actionneurs), et des fonctions intégratives réalisent l'analyse de l'information, le stockage et les prises de décisions. Le système nerveux central (encéphale et moelle épinière) s'appuie sur les axones et se charge des activités conscientes et des décisions vitales, ainsi que du traitement de toutes les informations qui requièrent une importante charge de traitement (vision, ouïe, odorat). Parallèlement, le système nerveux périphérique (nerfs crâniens et périphériques) se charge de la communication avec les neurones afférents et efférents, et gère les activités réflexes (respiration, réaction à la sensation de brûlure). Le second système développe deux moyens de communication plus élaborés, fondés sur les réseaux sympathiques et parasympathiques, des communications physiques au travers des ganglions et en même temps des liaisons « sans fil » à l'aide des neuromédiateurs chimiques.

De même dans l'équipement du domicile on va retrouver des capteurs et des actionneurs, des réseaux de communication, et des dispositifs intelligents distribués pour s'occuper des fonctions réflexes (fonctions domotiques, alarmes) et des fonctions centrales (détection des modes d'activité, déclenchement des alertes).

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. Les importants progrès scientifiques et techniques effectués en instrumentation miniaturisée, en capteurs et en traitement du signal, ont permis d'élargir le champ d'action de l'instrumentation biomédicale aux domaines sportifs et grand public, et pour des tâches non directement médicales : les mesures non invasives ont ainsi permis de rapprocher l'acquisition du patient et de son environnement [45].

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 [33].

Le poids est la variable qui se prête le plus aisément à une « automesure », les pèse-personnes du commerce sont d'une utilisation bien connue. Si le patient souffre de certaines formes d'handicaps mentaux ou physiques, on peut envisager l'automatisation de la prise de cette information, par exemple en pesant la personne dans son lit [46], ou dans les toilettes [47].

La température centrale s'acquiert avec un simple thermomètre. Des thermomètres électroniques mesurent le rayonnement infrarouge de la surface du tympan (thermomètres tympaniques) ou du fond de la bouche. Ils ont totalement remplacé les dispositifs au mercure qui sont désormais interdits à cause de la toxicité du métal qu'ils renferment.

Les valeurs extrêmes de la tension artérielle (pressions systolique et diastolique), sont accessibles avec des dispositifs à brassards (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, 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 (« électrocardiogramme (ECG) ») prélevé depuis 3 à 12 électrodes posées sur la peau, en des sites relativement 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 périodiquement 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 extrêmes du taux d'oxygénation du sang (oxymètre). Toutefois le pouls instantané est rarement intéressant, sauf si 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 : taux de glycémie chez les diabétiques (glucomètre), capacité respiratoire chez les asthmatiques (*PeakFlow meter*).

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 seul 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 passages 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 [48] et permet même de détecter la chute du porteur [49]. 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 bruits (sonomètre).

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

5.1.4. Classification des capteurs

Une classification des capteurs peut être opérée (Tableau 1), comme précédemment sur le type de données manipulées,

Tableau 1

Classification des capteurs suivant la classe de signaux (physiologie, activité, environnement), suivant leur distribution (fixe, déplaçable ou mobile), ou suivant la participation du sujet télésurveillé (actif ou passif)

	Information			Distribution			Action	
	Physiologique	Activité	Environnement	Fixe	Déplaçable	Ambulatoire	Active	Passive
Pèse-personne	•			•			•	(•)
Température	•				•		•	(•)
Pression artérielle	•				•		•	(•)
Pouls	•					•	•	(•)
Présence		•		•			•	
Déplacements		•		•			•	
Mouvements		•				•	•	
Posture		•				•	•	
Chute		•				•	•	
Température ambiante			•	•				•
Pression atmosphérique			•	•				•
Humidité relative			•	•				•
Luminosité			•	•				•
Sons			•	•				•
Gaz			•	•				•

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. Les capteurs peuvent être classés en termes de participation active ou passive du sujet ce qui est une indication objective de l'intrusivité de la technologie. Enfin certains rangent les capteurs dans deux catégories, celle des « exocapteurs » distribués dans l'environnement du patient et celle des « endocapteurs » embarqués sur la personne [50].

5.2. Actionneurs et machines

Le système d'appartements intelligents 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 la chaise roulante, soit sur un robot mobile, pour appuyer sur un bouton de commande, manipuler un levier de porte ou bien attraper un objet. Des tâches plus élaborées peuvent utilement être réalisées par ces robots aidants : préparer un repas ou faire le ménage [51], faire sa toilette [52]. Ces robots peuvent être téléguidés ou bien pilotés par la voix ou le geste [53].

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 soit à des réseaux câblés domotiques (bus de terrains) ou bureautiques (Ethernet, USB), cependant les réseaux sans fil (ISM 868 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 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, un service en temps réel est nécessaire : 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. Par exemple, le projet HIS de Grenoble utilise le réseau CAN [54] qui présente une bande passante réduite (1 Mbps) mais permet un service de type « producteur–consommateur » qui convient très bien à la diffusion d'informations et aux boucles intelligentes distribuées. En outre, il s'adapte à tous types de médium de communication : dans ce projet il emprunte indifféremment une simple paire téléphonique et une passerelle sans fil (bande ISM à 868 MHz).

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, 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 charges, 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 effectuée dès leur acquisition pour garantir la cohérence des valeurs et leur cohérence temporelle.

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 $\text{Valid}(f(x))$, 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 ($\text{Valid}(f(x)) = 1$ si la réponse appartient à la liste énumérée des réponses possibles), soit il s'agit des données textuelles libres et il faut alors faire appel aux technologies de reconnaissance de textes (intelligence artificielle).

5.4.2. Alarmes

La qualité principale attendue 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, 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) pourront être prévenus.

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 des personnels formés.

5.4.3. Détections 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 certains nombres 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 telle manière 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 évènement (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 ont plus de difficultés 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 [55], ouïe, difficultés de communication langagière [56]).

Les interfaces multimodales sont évidemment les mieux adaptées [57].

Tous les types d'interfaces (ordinateur individuel, Palm-top, téléphone cellulaire) peuvent être utilisés mais les plus acceptables sont les plus habituelles (téléviseur et télécommande).

5.6. Efforts de standardisation

Comme on l'a dit précédemment, il existe de nombreux projets de RTD mais peu d'entre eux ont atteint le stade industriel et 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'informations, en particulier depuis 1999 avec la création de plusieurs consortiums emmenés par certains grands industriels.

Par exemple, le consortium UPnP regroupe des grandes enseignes de l'électronique grand public, de la domotique, de la sécurité des biens et des télécommunications vers les mobiles [58]. Ce consortium vise à développer une connectivité simple entre des appareils divers et des ordinateurs individuels de diverses origines. Le mot clef est l'interopérabilité.

Le consortium OSGI vise lui à définir et faire adopter des spécifications ouvertes de services pour des réseaux domotiques et des réseaux embarqués dans les véhicules [59].

Il existe également des initiatives dans le domaine des systèmes d'informations avec le consortium « salutation », emmené par IBM, qui développe une technologie qui permet aux dispositifs qui veulent communiquer, de s'identifier préalablement au travers de l'échange de « cartes de visites » qui leur permettent ensuite de se proposer des services adaptés [60].

La seconde grande initiative en systèmes d'information, est portée par la compagnie Sun : la technologie « Jini Network Technology », fondée sur la technologie Java (café) du constructeur informatique, vise à offrir une plateforme de développement commune pour toutes les applications « interconnectées » [61].

6. Facteurs humains et éthiques

Mettre en réseau télésurveillé une personne, même pour des raisons médicales n'est pas anodin. Un certain nombre de questions sont soulevées par (1) l'observation de la personne à travers « l'œil » des capteurs, (2) la transmission des données d'observation à l'extérieur du domicile privé, (3)

l'utilisation de ces données par des tiers. De même, faut-il veiller à 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 sont 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 [62].

Elles s'appuient nécessairement sur l'ensemble des règlements et directives existantes. De même que les « services aux personnes à domicile » ont récemment fait l'objet d'une norme — la norme Afnor NF X 50-056 — et d'un règlement de certification [63], 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 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. Conclusions

La télémédecine porte la promesse d'un meilleur accès aux soins en même temps qu'une réduction des coûts. Cette idée est maintenant bien entrée dans la conscience collective.

Mais il s'agit de savoir si les technologies de télésurveillance médicale au domicile permettront d'installer et de maintenir des conditions de sécurité et d'efficacité médicales comparables à celles dont aurait bénéficié la personne dans des institutions de santé (services hospitaliers, cliniques, maisons de retraite médicalisées, 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 sous le 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 [64]. 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 nos 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 des hautes technologies. En particulier, les grands opérateurs et constructeurs de télécommunications tentent d'imposer leurs solutions technologiques sans bien comprendre les réels besoins. Or les systèmes d'information fondés sur l'Internet conviennent bien.

Du point de vue scientifique et technique, de grandes avancées restent à accomplir dans le domaine des nouveaux signaux requis pour cerner au mieux l'état de santé mais également de « bien-être » de la personne. 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 ») [65,66].

En ce qui concerne les systèmes domotiques, la plupart des recherches s'intéressent aux logements neufs, or la grande majorité 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 existants.

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, les technologies pour la télémédecine existent, mais il manque un modèle d'organisation pour déployer utilement ces technologies.

Remerciements

Nous tenons à remercier le ministère de l'Éducation nationale et de la Recherche technologique, qui a subventionné le projet « Tiissad » pour l'étude des systèmes domotiques en santé dans le cadre de l'Action concertée incitative 1999 (aide n° 99B0616). Nous voulons également remercier les industriels qui nous ont offert leur aide technique ou matérielle dans ce projet : Atral SA, Atmel France, Moulinex, Absys SA. Un remerciement tout particulier à Mr Jean-Pierre Thomesse, Professeur à l'Ensem de Nancy, pour ses précieux conseils en matière de réseaux locaux, et à Mr André Dittmar, ingénieur de recherches au LPM-Insa de Lyon pour ses conseils éclairés en matière de capteurs.

Références

- [1] E. Podnieks et al., « Une enquête nationale sur les mauvais traitements des personnes âgées au Canada », Toronto, Ontario, Ryerson Polytechnical Institute, 1990.

- [2] Rapport de l'OMS. "World report on violence and health". http://www.who.int/violence_injury_prevention.
- [3] Krémer P. « La France en tête des pays européens pour le suicide des personnes âgées ». *Le Monde*, 2002, Feb 5.
- [4] SJ Brownsell, G Williams, DA Bradley, R Bragg, P Catlin, J Carlier, "Future systems for remote health care", *Telemed & telecare*, 5, pp 141-152.
- [5] Noury N. « Système télématique pour l'organisation de l'hospitalisation à domicile ». Grenoble: université Joseph-Fourier; 1992 [Thèse de doctorat].
- [6] Vetel JM. « *Le logiciel AGGIR* » — revue hospitalière de France. 1995, 1 jan. p. 108.
- [7] Katz E, et al. "Studies of illness in the aged. The index of ADL. A standardized measure of biological and physiological function". *Jama* 1963;185:914.
- [8] Katz S, Downs TD, Cash HR, Grotz RC. "Progress in development of the Index of ADL". *Gerontologist*, Part I 1970; volume 10:20–30.
- [9] Haigh KZ, Yanco HA. "Automation as caregiver: a survey of issues technologies". *Proc AAAI workshop*. Edmonton, Alberta: AAAI; 2002. p. 39–65.
- [10] Rialle V, Duchene F, Noury N, Bajolle L, Demongeot J. "Health smart home: Information technology to patients at home". *Telemed E-Health* 2002;8(4):395–409.
- [11] Tamura T, Togawa T, Murata M. "A bed temperature monitoring system for assessing movement during sleep". *Clin Phys Physiol Meas* 1988;9:139–45.
- [12] Yamaguchi A, Ogawa M, Tamura T, Togawa T. "Monitoring behaviour in the home using positioning sensors". *Proc 20th IEEE conference on engineering in Medicine and Biology*. Los Alamitos, CA: IEEE; 1998. p. 1977–9.
- [13] Ogawa M, Togawa T. "Attempt at Monitoring Health Status in the Home". In: Dittmar A, Beebe D, editors. *Proceedings of the 1st International IEEE-EMBS Special topics conference on microtechnologies in medicine and biology* (Lyon, France). Los Alamitos, CA: IEEE; 2000. p. 552–6.
- [14] Inada H, Horio H, Sekita Y, Isikawa K, Yoshida K. "A study on a home care support information system". *Proc of the 7th World Congress on Medical Informatics*. 1992. p. 349–53.
- [15] Noury N, Pilichowski P. A telematic system tool for home health care. *Proceedings of the 14th Annual International Conference of the IEEE-EMBS*, (Paris, France, oct 92, part 3/7). Los Alamitos, CA: IEEE; 1992. p. 1175–7.
- [16] Richardson SJ, Poulson DF, 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*. 1993. p. 87–95.
- [17] Richardson SJ, Poulson DF, Nicolle C. "User requirements capture for adaptable smarter home technologies". *rehabilitation technology: Proc of the 1st Tide Congress*. 1993. p. 244–8.
- [18] Alyfuku K, Hiruta Y. "Networked health care and monitoring system". april 1995 US Patent 5,410,471 feb. 11, 1993.
- [19] Celler BG, Earnshaw W, Ilsar ED, Betbeder-Matibet L, Harris MF, Clark R, et al. "Remote monitoring of the health status of the elderly at home, a multidisciplinary project on aging at the University of New South Wales". *Int J Biomed Comput* 1995;40:147–55.
- [20] Chan M, Hariton C, Ringard P, Campo E. "Smart House automation system for the elderly and the disabled". *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. Los Alamitos, CA: IEEE; 1995. p. 1586–9.
- [21] Chan M, Bocquet H, Campo E, Val T, Pous J. "Alarm communication network to help carers of the elderly for safety purposes: a survey of a project". *Int J Rehab Res* 1999;22:131–6.
- [22] Steenkeste F, Bocquet H, Chan M, Campo E. "La mise en place d'une technologie pour observer le comportement nocturne des personnes âgées en institution". *ITBM-RBM* 2001;22:25–30.
- [23] <http://www.laas.fr/PROSAFE/>.
- [24] Roth A, Carthy Z, Benedek M. "Telemedicine in emergency home care — the *Shahal* experience". *J Telemed Telecare* 1997;vol. 3:58–60.
- [25] Leikas J, Salo J, Poramo R. Security alarm system support independent living of demented persons. *Proc Gerontechnology 2nd international Conference*. 1998. p. 402–5.
- [26] Mozer MC. "The neural network house: an environment that adapts to its inhabitants". *AAAI Spring Symposium on Intelligent Environments*. 1998. p. 110–4.
- [27] Williams G, Doughty K, Bradley DA. "A system approach to achieving CarerNet - an integrated and intelligent telecare system". *IEEE Trans Information Technol Biomed* 1998;2:1–9.
- [28] Williams G, Doughty K, Bradley DA. "Distributed intelligent nodes as information filters in advanced telecare systems". *Proceedings of the 21st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society*. Atlanta. Los Alamitos, CA: IEEE; 1999.
- [29] Doughty K, Isak R, King PJ, Smith P, Williams G. MIDAS - Miniature Intelligent Domiciliary Alarm System — a practical application of telecare. Presented at the 1st Joint BMES/EMBS Conf. *Serving Humanity, Advancing Technology*. Atlanta. 13–16 october 1999.
- [30] Elger G, Furugren B. "SmartBo" - An ICT and computer-based demonstration home for disabled people". presented at the 3rd Tide Congress: *Technology for Inclusive Design and Equality Improving the Quality of Life for the European Citizen*, 23–25 june, Helsinki, Finland. 1998.
- [31] Bonner SG. "Assisted Interactive Dwelling House". presented at the 3rd Tide Congress: *Technology for Inclusive Design and Equality Improving the Quality of Life for the European Citizen*, 23–25 june, Helsinki, Finland. 1998.
- [32] Van Berlo A. "A "smart" model house as research and demonstration tool for telematics development". Presented at the 3rd Tide Congress: *Technology for Inclusive Design and Equality Improving the Quality of Life for the European Citizen*, 23–25 june, Helsinki, Finland. 1998.
- [33] Sixsmith AJ. "An evaluation of an intelligent home monitoring system". *J Telemed Telecare* 2000;6:63–72.
- [34] Glascock AP, Kutzik DM. "Behavioral telemedicine: a new approach to the continuous non intrusive monitoring of activities of daily living". *Telemed J* 2000;6(1):33–44.
- [35] Noury N, Hervé T, Rialle V, Virone G. "Monitoring Behavior In Home Using a Smart Fall Sensor And Position Sensors". *Proc IEEE-EMBS "Microtechnologies in Medicine & Biology"*(Lyon-France oct 2000). Los Alamitos, CA: IEEE; 2000. p. 607–10.
- [36] Rialle V, Noury N, Hervé T. "An experimental Health Smart Home and its distributed Internet-based information and communication system : first steps of a research project". Presented at *Medinfo2001*, Londres. sept.2001.
- [37] <http://www-timc.imag.fr/AFIRM/SiteHIS/>.
- [38] Maglaveras N, Koutkias V, Meletiadiis S, Chouvarda I, Balas EA. "The Role of wireless Technology in home care delivery" 2001. presented at *Medinfo 2001*, London. 2001.
- [39] D. Kidd, R. Orr, D. Abowd, C.G. Atkesson, I.A. Essa, B. MacIntyre et al., "The aware home: A living laboratory for ubiquitous computing research", presented at the 2nd International Workshop on cooperative Buildings — *CoBuild'99*, oct 1999.
- [40] http://architecture.mit.edu/house_n/web.
- [41] H. Kautz, L. Arnstein, G. Boriello, O. Etzioni, D. Fox, "An overview of the assisted cognition project", presented at the AIII Workshop "Automation as caregiver", 2002.
- [42] <http://www.futurehealth.rochester.edu/>.
- [43] Vigil Health Management Inc., <http://www.vigil-inc.com>.
- [44] Attaoui A. « Les systèmes multi-agents et le temps réel ». Eyrolles Publisher; 1997. p. 39–42.
- [45] Dittmar A, Delhomme G. « Microtechnologies et concepts bio-inspirés : les potentiels en biomécanique ». *Arc Physiol Biochem* 2001;109:24–34.
- [46] Neuman E. "Weighing device for bedridden patients" European patent 0 854 357 A1. jul. 22, 1998.

- [47] De Canecaude E. “Device for weighing individuals on WC seat” Internat. Patent W085 04472. oct. 10, 1985.
- [48] Depeursinge Y. “Device for monitoring the activity of a person and/or detecting a fall...” US patent n° 6 201 476 B1. march 13, 2001.
- [49] Noury N. « Détecteur de chute d’une personne » Brevet français 01/12046. sept. 18, 2001.
- [50] A. Dittmar, “Les capteurs à distance et la télésurveillance”, in : « E-Santé : médecine de pointe, médecine de proximité (23–24 janvier 2002, Faculté de médecine de Lille) », pp. 90–97.
- [51] Dallaway JL, Jackson RD, Timmers PH. “Rehabilitation robotics in Europe”. IEEE Trans Rehabil Eng march 1995;3(1):35–45.
- [52] Topping M. “The development of Handy 1, a robotic system to assist severely disabled”. Proc ICORR’99: the International Conference on Rehabilitation Robotics. 1999. p. 244–9.
- [53] Z. Kazi, S. Chen, M. Beitler, D. Chester, R. Foulds, “ Speech and gesture mediated intelligent teleoperation”, in V. Mittal, H.A. Yauco, J. Aronis, R.C. Simpson, Editors. Lecture notes in artificial intelligence: assistive technology and artificial intelligence. Springer–Verlag; 1998, pp. 194–210.
- [54] Paret D. “Le réseau CAN, Controler Area Network”. Paris: Dunod; 1996.
- [55] A. Arditì, “Effective color contrast: designing for people with partial sight and color deficiencies”, technical report, Lighthouse international, 1999, www.lighthouse.org.
- [56] K.F. McCoy, « Interface and language issues in intelligent systems for people with disabilities » , in V. Mittal, H.A. Yanco, J. Aronis, R.C. Simpson Editors “Lecture notes in artificial intelligence: assistive technology and artificial intelligence” Springer–Verlag, 1998, pp. 1–11.
- [57] Vallès M, Manso F, Arredondo MT, Del Pozzo F. “Multimodal environmental control system for elderly and disabled people”. Proc IEEE-EMBS. Los Alamitos, CA: IEEE; 1996. p. 516–7.
- [58] <http://www.upnp.org/>.
- [59] <http://www.osgi.org/>.
- [60] <http://www.salutation.org/>.
- [61] <http://www.jini.org/>.
- [62] C. Hervé « Éthique, politique et société: vers une politique de santé publique » . Paris: Presses Universitaires de France, année??.
- [63] Detolle J. « La norme NF X 50-056 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.
- [64] Larcher P, Poloméni P. « *La santé en réseaux* ». Paris: Masson; 2001.
- [65] Noury N. « *Du signal à l’information : le capteur intelligent. Exemples industriels et en médecine* ». Mémoire d’habilitation à diriger des recherches. <http://bibliotheque.imag.fr/bibliotheque/collections-electroniques/publications/theses/2002/index.html>. avril 2002.
- [66] Demongeot J, Virone G, Duchêne F, Benchetrit G, Hervé T, Noury N, et al. “Multi-sensors acquisition, data fusion, knowledge mining and alarm triggering in health smart homes for elderly people”. CR Acad Sci 2002;325:673–82.