



HAL
open science

Apport de l'intelligence artificielle dans la surveillance des personnes fragiles à domicile

Eric Campo, Damien Brulin, Daniel Estève, Marie Chan

► **To cite this version:**

Eric Campo, Damien Brulin, Daniel Estève, Marie Chan. Apport de l'intelligence artificielle dans la surveillance des personnes fragiles à domicile. *Revue Ouverte d'Intelligence Artificielle*, 2023, 4 (1), pp.107-127. 10.5802/roia.52 . hal-04126898

HAL Id: hal-04126898

<https://laas.hal.science/hal-04126898v1>

Submitted on 13 Jun 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



ÉRIC CAMPO, DAMIEN BRULIN, DANIEL ESTÈVE, MARIE CHAN

Apport de l'intelligence artificielle dans la surveillance des personnes fragiles à domicile

Volume 4, n° 1 (2023), p. 107-127.

<https://doi.org/10.5802/roia.52>

© Les auteurs, 2023.



Cet article est diffusé sous la licence
CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE.
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*La Revue Ouverte d'Intelligence Artificielle est membre du
Centre Mersenne pour l'édition scientifique ouverte*
www.centre-mersenne.org
e-ISSN : 2967-9672

Apport de l'intelligence artificielle dans la surveillance des personnes fragiles à domicile

Éric Campo^{a,b}, Damien Brulin^a, Daniel Estève^a, Marie Chan^a

^a LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UT2J, Toulouse, France

^b 7, avenue du Colonel, Roche BP 54200, 31031 Toulouse cedex 4, France

E-mail : eric.campo@laas.fr, dbrulin@laas.fr.

RÉSUMÉ. — L'instrumentation de l'habitat est un potentiel de développements technologiques et industriels identifié depuis plus de trente ans, qui a progressivement affiché plusieurs ambitions : de l'idée de domotique à celle d'habitat intelligent. Cet article s'attache au volet « sécurisation des biens et des personnes » en considérant particulièrement le cas de la nécessaire surveillance des personnes « fragiles » à domicile. Deux étapes de développements sont rappelées et caractérisées : l'instrumentation non intrusive de l'habitat, puis le mixage d'une instrumentation couplée de l'habitat et de l'utilisateur. Les principes technologiques sont décrits et l'on peut conclure que les technologies sont prêtes pour une diffusion large et rapide, si l'organisation sociale accepte de répondre aux besoins d'une surveillance sécuritaire fonctionnant 24 h/24, avec toutes les garanties qui s'imposent. L'article envisage ensuite plus prospectivement les chemins de progrès que la R&D est en train d'emprunter via la mise en œuvre des technologies de l'Intelligence Artificielle (IA) pour modéliser les habitudes comportementales et décisionnelles de l'utilisateur et les porter sur le téléphone portable. Celui-ci deviendrait, dans la pratique, un robot auxiliaire porté d'aide aux décisions, dont la fonction pourrait être complétement et utilement embarquée sur un robot compagnon pour y exploiter les capacités de mobilités autonomes et dirigées.

MOTS-CLÉS. — Habitat domotisé, instrumentation, personnes âgées, fragilité, aide à la décision, intelligence artificielle, robotique, systèmes embarqués.

1. INTRODUCTION

La problématique de la surveillance des personnes âgées à domicile ou en institution est identifiée depuis plus de vingt ans comme un enjeu majeur de société : les progrès de la médecine et du confort de vie font que la population des personnes âgées grandit en nombre et en proportion de la population globale. En 2017, on estime à 962 millions le nombre de personnes âgées de 60 ans ou plus dans le monde (13 % de la population mondiale). La population âgée de 60 ans et plus croît à un taux d'environ 3 % par an. Actuellement, l'Europe a le pourcentage le plus élevé pour les plus de 60 ans (25 %) [58]. Le premier besoin rapidement identifié fut celui du maintien à domicile des personnes âgées dans des conditions sécurisées : c'est ainsi qu'est née l'idée, dans

les années 1980, de mettre les progrès technologiques au service de la protection et de la surveillance continue des personnes âgées à domicile. En France, quelques équipes de recherche se sont immédiatement mobilisées sur cet objectif av-ec les encouragements du CNRS [30] et grâce au lancement d'un premier programme national d'actions R&D AAP 2005 du RNTS (Réseau National « Technologies pour la Santé »). Elles firent parties de ces premières équipes françaises à proposer un système de surveillance passif utilisant des capteurs de présence répartis dans l'habitat [22] basé sur la construction, par des techniques d'apprentissage, d'un modèle des habitudes des occupants à partir duquel, on détecte les déviations comportementales et donc, probablement, des risques pour la personne [2, 28, 42, 45, 60]. Ces questions ont fait l'objet d'un thème dédié sur les « Capteurs, Vêtements, Habitats et Réseaux Intelligents en Santé » au sein du GdR Stic-Santé entre 2003 et 2014 [17] réunissant les différentes compétences de ces équipes [57]. Cette option reste aujourd'hui fondamentalement d'actualité bien que les supports technologiques se soient fortement développés depuis cette époque, avec le développement des capteurs connectés, des technologies nouvelles de communication courtes et longues portées et des algorithmes d'IA.

La problématique initiale s'est aussi énormément élargie : la surveillance continue est en train de devenir une exigence prioritaire pour tous les systèmes pouvant présenter des risques pour les Populations ou pour l'Environnement ; elle est partie prenante d'une préoccupation générale, face au déploiement des technologies, d'un objectif de fiabilisation des installations et de sécurisation des personnes, en s'appuyant sur les nouvelles ressources offertes par le numérique.

Cet article s'inscrit dans cette dynamique mais reste centré sur la « maison intelligente » et sur la problématique de la sécurisation des personnes « fragiles » à domicile. Le terme « fragile » identifie une classe de population âgée (critères de Fried [32]), qui présente des risques de survenue de handicaps dus au vieillissement. Nous nous y référons principalement, mais les avancées technologiques que nous allons décrire sont valables aussi bien pour traiter des personnes « fragiles ou dépendantes », que des personnes malades, convalescentes ou handicapées.

Nous avons adopté dans notre présentation, le choix d'une démarche plutôt chronologique des avancées technologiques dans l'habitat, en restant centré sur les aspects méthodologiques et généraux. Pour les aspects plus applicatifs, nous renvoyons le lecteur aux nombreux articles de revues publiés sur les « smart home » ces dernières années [1, 21, 27, 40]. Nous rappellerons ici d'abord les besoins de surveillance identifiés dans le cas des personnes fragiles, et discuterons deux approches : celle de la surveillance non intrusive et celle de la surveillance embarquée et nous concluons sur les perspectives nouvelles ouvertes par le déploiement de l'Intelligence Artificielle et du lien possible avec la robotique d'assistance.

2. RAPPEL DES EXIGENCES DES PERSONNES FRAGILES À DOMICILE

Il y a, avant tout, chez les personnes concernées, une demande forte à vouloir garder leur autonomie le plus longtemps possible et en toute sécurité. Cela suppose qu'un habitat intelligent doit intégrer dans son cahier des charges, les exigences suivantes :

- Disposer des aménagements spécifiques aptes à limiter les risques pour les occupants,
- Disposer d'un système de surveillance et d'alerte en cas de détection, au mieux d'un risque quelconque pour les biens et les personnes, au pire d'un accident avéré ou d'un dysfonctionnement grave,
- Bénéficier dans l'urgence, d'interventions rapides et plus largement, d'une assistance et d'un accompagnement 24 h/24.

Les deux premiers points relèvent pour une large part, de contributions technologiques ; le troisième point relève plus essentiellement, d'une organisation ad hoc de nos sociétés : réseaux familial et amical, de santé, d'assistances à domiciles, etc. Nous restons dans cet article centré sur les aspects technologiques qui définissent les méthodes et les outils pour arriver au stade de lancer une alerte. Nous traiterons aussi, avec une réflexion plus prospective, l'interface avec l'organisation d'intervention et le rôle que peut y jouer une robotique d'assistance directement placée à domicile.

Dans les années 80, lorsque le monde de la Recherche a pris pleine conscience de ces besoins, une exigence très contraignante semblait ne pas pouvoir être dépassée, celle de la protection de l'intimité des personnes, interdisant toute surveillance par prise d'images et de sons. C'est là une des raisons qui a motivé les premiers travaux sur la piste d'une surveillance « non intrusive » des personnes à domicile.

L'importante croissance du volet « sécurisation des biens et des personnes » a rendu acceptable aujourd'hui d'envisager des options nouvelles d'instrumentations directes des personnes et d'instrumentations plus intrusives de l'habitat. Dans cette évolution, la sécurisation des biens a, par exemple, joué un rôle accélérateur évident dans l'introduction des caméras comme source première d'informations mais aussi, l'explosion des réseaux sociaux a contribué à banaliser grandement, dans nos sociétés, les échanges d'informations les plus intimes. On peut dire aujourd'hui qu'il y a, même chez les personnes âgées, acceptation, pour des raisons sécuritaires ou de santé, de s'entourer de systèmes de surveillance relativement intrusifs [4, 25].

Qu'ils soient intrusifs ou non, les systèmes de surveillance ont pour tâches basiques de détecter un risque, d'en évaluer le niveau d'urgence et d'alerter l'organisation d'intervention. Face à la diversité des situations et des interventions possibles, il faut absolument identifier au plus tôt si l'on peut temporiser, s'il faut intervenir en urgence et autant que possible viser juste sur le type d'intervention : on est là dans le monde incontournable de l'aide à la décision, de l'IA avec donc un besoin objectif d'entourer les données de surveillances directes, de données complémentaires historiques, contextuelles et conjoncturelles. Cet aspect émergent de la surveillance dans l'habitat

constitue probablement le complément indispensable des technologies actuelles pour créer une offre complète, un habitat intelligent où les personnes fragiles pourront se sentir pleinement sécurisées.

3. LA SURVEILLANCE NON INTRUSIVE DES PERSONNES FRAGILES À DOMICILE

Les premières solutions développées [18] visaient une surveillance à domicile complètement transparente pour l'usager avec comme exigence incontournable de ne l'importuner en aucune manière et de respecter complètement son intimité. La base technologique, pour réaliser cette surveillance fut la mise en œuvre de capteurs de présence répartis : ce sont des détecteurs piézoélectriques qui détectent, dans leur champ de vision infrarouge, des changements brusques de température en l'occurrence les mouvements des personnes. La mise en œuvre a consisté à placer quelques capteurs de ce type dans l'habitat, sur les points de vie principaux [20] pour pouvoir observer les déplacements les plus fréquents à l'intérieur de chaque pièce et entre les pièces de l'habitat et ainsi créer :

- un tableau des taux de présence par pièce et des déplacements « habituels » lorsque « tout va bien » (*i.e.* pendant son comportement habituel),
- une stratégie d'intervention lorsque l'écart entre le comportement habituel et le comportement courant devient préoccupant.

Les premières expériences [11] ont très vite montré que les personnes âgées, pour la plupart, reproduisent quasiment le même comportement « jour après jour ». L'idée a été alors de mettre en place une modélisation personnalisée de ce comportement habituel et de s'en servir comme modèle d'anticipation du comportement « normal » : on va alors, en comparant les données courantes et les données anticipées par le modèle, mesurer en continu les écarts au comportement habituel, pour émettre des alarmes lorsque ces derniers sont jugés trop importants [15, 19]. La valeur du seuil de déclenchement d'une alerte est déterminée de manière empirique mais peut évoluer dynamiquement en fonction des variations comportementales dans un souci de minimisation des fausses détections. Cette approche a été particulièrement fouillée par le LAAS-CNRS qui l'a expérimentée à la fois à domicile [6] et en institutions [8, 14] ; un point original de notre approche fut de proposer une découpe du temps en tranches horaires pour exploiter le caractère répétitif des activités et définir ainsi des modélisations par tranches horaires plus précises et pertinentes. La figure 3.1 illustre un exemple de l'évolution de trois activités d'une personne suivie la nuit sur plusieurs jours en EHPAD [19] ou sur 24 h en journée : le lever du lit, la sortie de la chambre, l'entrée aux toilettes. Ces mesures proviennent de données issues de capteurs de présence répartis dans différents endroits stratégiques de la chambre de vie [12]. On y voit parfaitement se dessiner des habitudes fortes de lever et de coucher, un peu moins définies en pleine activité journalière, ce qui montre bien que des actions de surveillance sont possibles mais avec des limites. On remarque également que dans l'exemple du suivi sur une journée, les levers de nuit sont toujours suivis de l'entrée aux toilettes. Ce comportement particulier, s'il se reproduit sur différentes nuits, peut être mémorisé par le système d'apprentissage pour une

modélisation individualisée du comportement de cette personne. C'est une approche que l'on retrouve dans la littérature chez plusieurs équipes [3, 31, 42], qui a été validée sur différents sites d'essais à domiciles ou en institutions et qui est, dès maintenant proposée commercialement par plusieurs PME dont en France [49, 51, 56]. C'est une approche bien acceptée car elle rassure les familles et n'impose rien à la personne.

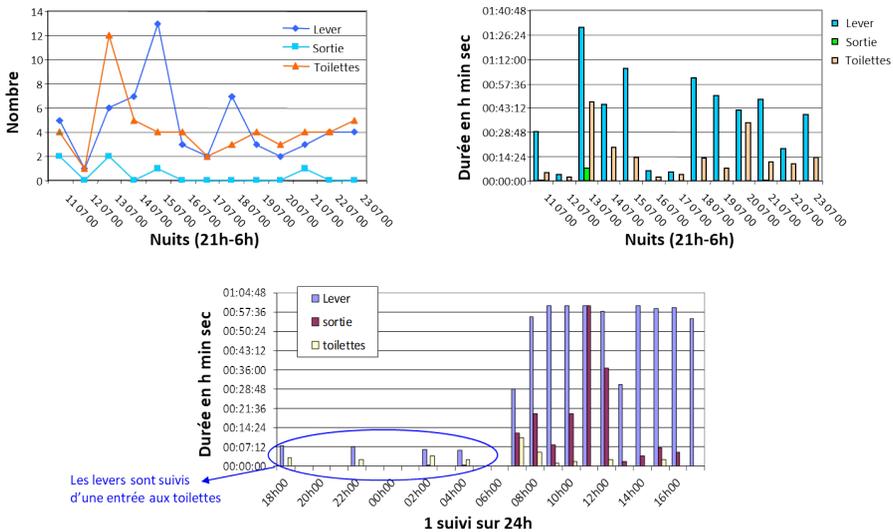


FIGURE 3.1. Évolution des activités levers, sorties et entrées aux toilettes d'une personne suivie en EHPAD

Cependant, c'est une approche qui a des limites liées aux aléas de comportement chez la personne et en conséquence, à l'imprécision des modèles de comportement ; ces aléas amènent des erreurs de diagnostic et la question difficile est la gestion des fausses alarmes. Pour évaluer la pertinence d'un modèle, on mesure :

- les faux négatifs (FN) : Nombre de situations d'une activité non détectée lorsqu'elle s'est effectivement produite,
- les faux positifs (FP) : Nombre de situations d'une activité détectée alors qu'elle ne s'est effectivement pas produite.

Ceci amène au calcul de performance d'un modèle développé applicable à tout type de fonctionnalités (détection d'un comportement particulier, d'une chute, d'une fugue...). Le tableau 3.1 illustre la matrice de confusion de la classification d'une chute.

Cette difficulté est particulièrement gênante lorsqu'il faut détecter au plus tôt des chutes ou des malaises car cette détection est construite sur un critère d'immobilité par fixation d'un délai temporel. Ce délai, à cause de l'imprécision du modèle de normalité, est nécessairement important jusqu'à être incompatible face aux exigences, dans certains cas, d'avoir à intervenir dans un délai maximum de 45 min lors d'un accident

TABLE 3.1. Matrice de confusion de la classification d'une chute.

		Événement détecté	
		Chute	Non chute
Événement réel	Chute	Vrais positifs	Faux positifs
	Non chute	Faux négatifs	Vrais négatifs

cardiaque ou cérébral [53]. En restant dans la même logique, on peut aujourd'hui remplacer les capteurs de présence par des caméras : l'image est floutée pour respecter l'intimité des personnes, mais en cas d'alerte, l'image peut être exploitée pour visualiser la situation et en valider les risques [26], ou par des dalles intelligentes [24] : elles réagissent à des déplacements ou des chutes d'objets et de personnes mais également interagissent avec des robots se déplaçant sur le plancher.

L'instrumentation de l'habitat est donc une approche simple, prête à l'usage mais à efficacité limitée et donc avec des risques que l'on peut cependant réduire en dépassant les contraintes de non-intrusivité, par la mise en œuvre de caméras et en faisant un peu participer la personne, par exemple en l'équipant d'un bouton d'alerte (press button). En perspective, il y a celle de disposer à domicile d'un robot assistant [38] qui pourrait être, en cas d'alerte, programmé pour vérifier visuellement l'état de la situation et apporter les premiers outils de soins. On y reviendra dans la section 5.

4. VERS UNE SOLUTION DE SURVEILLANCE MIXTE ASSOCIANT UNE INSTRUMENTATION DE L'HABITAT ET DE SES OCCUPANTS

Dans l'option précédente qui consiste à uniquement instrumenter l'habitat, le danger pour les personnes est lié au fait que la détection d'un malaise ou d'une chute nécessite, sur la base d'un critère d'immobilité, un délai décisionnel qui peut être important et donc dangereux lorsqu'il y a urgence. Pour réduire ce risque, la priorité parfaitement recensée comme un besoin fort est la détection directe de chute. La technologie est aujourd'hui en mesure d'y répondre : accéléromètres, centrales inertielle..., et l'offre qui existe exploite ces avancées technologiques et est très diversifiée en terme de logiciels de détection qui peuvent allier trois critères complémentaires [37] :

- une dérive dans l'activité et le comportement de la personne,
- une variation brusque de l'accélération au moment de la chute,
- une rupture de l'activité avant / après la chute présumée.

C'est une solution très performante permettant une décision rapide et limitant à presque zéro les faux positifs ou les faux négatifs. La tendance est à proposer des bracelets [44] sur lesquels peuvent être associés des boutons d'alerte complémentaires à la détection automatique de chute. Cette solution peut aussi s'inscrire dans la structure de surveillance déjà décrite 24 h/24. Évidemment, le placement du capteur au poignet est très ergonomique mais n'est pas la solution la moins risquée dans la mesure où l'activité manuelle est intense et peut brouiller la détection. Certains préconisent de

placer le capteur à la ceinture [9] et d'autres de le placer dans la chaussure [52]. Dans la surveillance des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, la proposition est de placer le capteur dans le dos des personnes pour éviter leurs réactions qui sont le plus souvent d'arracher les patches auxquels ils peuvent accéder [34].

La détection de chute par une instrumentation embarquée ouvre la voie à une surveillance des personnes plus directe et plus personnalisée qui peut favorablement s'inscrire dans un objectif plus large de sécurisation de l'habitat et de ses occupants. D'une manière générale, toutes les fonctions et outils de base (matériels et logiciels) sont prêts ou en développement pour que soient proposés des systèmes performants capables de détecter tout type d'incident de vie à domicile. La figure 4.1 donne une illustration d'un système globalisant la sécurisation des biens et des personnes. Deux questions restent cependant préoccupantes dans la mise en œuvre :

- l'organisation sanitaire et sociale que ces développements en cours induisent,
- le modèle économique, dans le sens où : comment le marché va-t-il accueillir ces innovations ?



FIGURE 4.1. Illustration d'un système couplant la sécurisation des biens et des personnes

Relativement à la question de l'organisation sanitaire et sociale, de nouvelles étapes de progrès sont indispensables et notamment une implication directe plus importante du monde médical dans le processus de surveillance technique : cela suppose que ce monde médical, déjà en pleine mutation sur l'informatisation de ses pratiques, s'approprie l'outil de surveillance à des fins cliniques et thérapeutiques ; les intérêts sont multiples comme le suivi de l'état de santé, de la prise de médicament, la survenue accidentelle de malaises et la surveillance automatique des périodes de convalescence...

Un exemple de rapprochements entre démarches techniques et cliniques est la coopération engagée depuis quelques années entre le LAAS-CNRS et le CHU-gériatrie de Toulouse, dans deux projets complémentaires : RESPECT [48], pour la mise au point technique et FRAGIL'IT [13], pour un premier déploiement expérimental avec l'appui de l'Entreprise ACTIA. Le CHU de Toulouse propose une voie [23] d'usage dans le suivi et le traitement des « personnes fragiles » : l'objectif est d'accueillir les personnes lors des visites régulières de prescriptions et de les équiper d'une instrumentation embarquée capable de s'assurer qu'ils suivent bien ces prescriptions et en tirer des enseignements utiles pour valider le traitement et le modifier en pleine connaissance de cause. Dans l'exemple susmentionné, la surveillance à domicile s'exerce au travers des critères de Fried exploités via trois mesures : la vitesse de déplacement, le poids et la force de préhension. Dans ce contexte, le LAAS a développé une semelle intelligente [16] qui a mission de mesurer les caractéristiques de la marche (vitesse, distance parcourue, minutes actives). La figure 4.2 illustre, dans la phase de validation, la structure mise en œuvre et les interfaces de visualisation des données recueillies via une tablette tactile pour la personne elle-même ou pour le prescripteur médical.

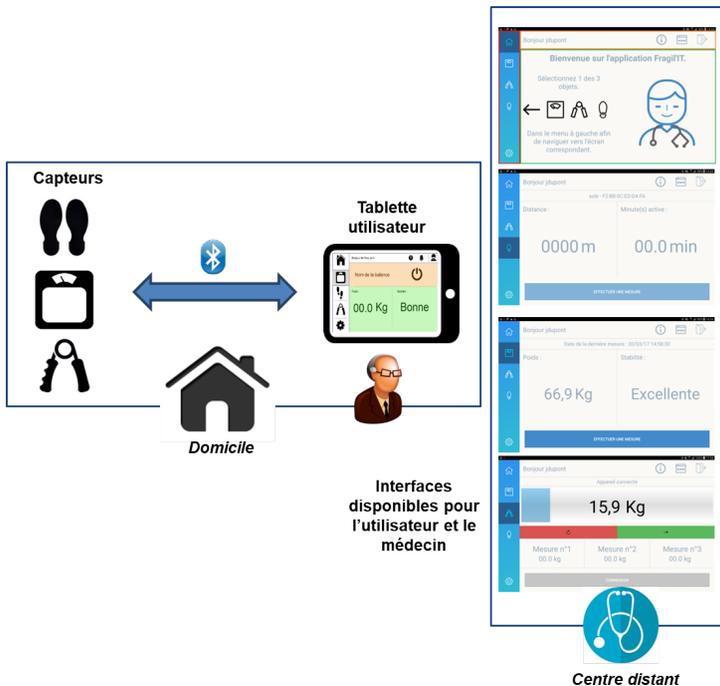


FIGURE 4.2. Dispositifs de surveillance de paramètres de santé à domicile et interfaces utilisateurs

Le choix d'une semelle intelligente semble convenir : l'instrumentation miniaturisée et placée dans une pièce amovible est bien acceptée par les personnes fragiles ;

la faisabilité et la pédagogie de mise en œuvre par des équipes d'assistance à domicile sont acquises. Notons aussi le choix d'une instrumentation embarquée dans une semelle qui est parallèlement boostée par les applications destinées au suivi de sportifs [54]. Un point important à souligner est celui du retour d'information immédiat auprès de l'utilisateur, par la voie de son téléphone portable ou de sa tablette tactile. Cette option technique complète l'illustration du système donnée à la figure 4.1 et invite à multiplier les mesures embarquées et développer un véritable réseau informatique de type BodyLan communicant en temps réel avec à la fois tous les acteurs concernés et la personne elle-même (figure 4.3). L'accumulation des données sur les personnes ouvre de nouvelles étapes :

- Comment intégrer ces données dans le dossier médical [55] ?
- Comment exploiter de manière pertinente cette accumulation de données dans le Cloud ?
- Comment assurer le suivi longitudinal des comportements [41] pour y déceler des changements qui témoigneraient d'un risque à long terme ? Il s'agit, par ce biais d'encourager la prévention.
- Comment compléter l'action de surveillance en l'orientant aussi vers le suivi de certains paramètres physiologiques [47] ?

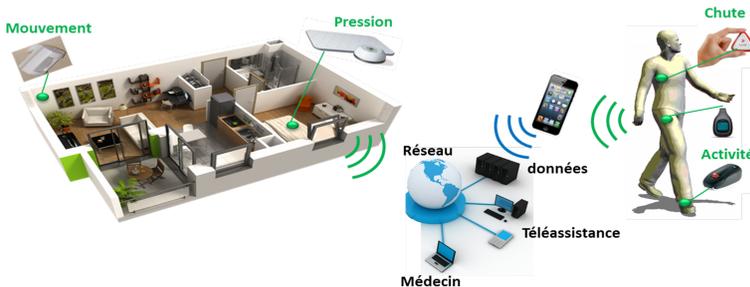


FIGURE 4.3. Illustration hybride couplant système BodyLan et habitat connecté

5. L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR LA SURVEILLANCE AUTONOME

Les solutions innovantes nécessitent un degré d'autonomie élevé des systèmes de surveillance. Cette autonomie peut s'acquérir par l'intégration d'une IA dont le but est de réagir 24 h/24 à l'environnement tout en essayant d'atteindre, sans intervention humaine et de façon satisfaisante, un objectif qui lui a été prédéfini. L'IA désigne des technologies qui reposent sur l'utilisation d'algorithmes plus ou moins avancés se caractérisant souvent par leur capacité prédictive. Il s'agit de doter les machines d'une intelligence et d'une autonomie propres. Le rapport du Sénat de mars 2017 indique que l'IA représente une chance à saisir pour nos sociétés et nos économies et que les enjeux sont nombreux. Il mentionne outre les questions technologiques et scientifiques en matière d'IA, des questions éthiques, juridiques ainsi que les contraintes d'acceptabilité

sociale assez forte sous l'effet de représentations catastrophistes de l'IA auxquelles les utilisateurs de cette approche doivent faire face [46].

5.1. LE RÔLE DE L'IA DANS LES PLATEFORMES DE SURVEILLANCE DES PERSONNES ÂGÉES À DOMICILE

Rendre un système intelligent c'est lui associer des fonctions complémentaires aux fonctions basiques de conduite des processus, habituellement laissées à la charge des opérateurs. L'idée est de rendre le système complet capable de s'adapter automatiquement à des conditions d'exploitations nouvelles et même imprévues. Cette nouvelle étape du développement des systèmes applique les technologies nouvelles de l'« IA » qui s'appuie sur :

- Une base de données qui recueille toutes les informations utiles à la conduite courante du système mais aussi toutes les données historiques, conjoncturelles et environnementales susceptibles d'apporter des éclairages pertinents et personnalisés en cas de besoins,
- Une capacité de calcul spécifique pour fusionner toutes ces données hétérogènes et construire des modèles nouveaux en cas d'évolutions des conditions d'exploitations ou de changements de politique de l'entreprise.

Fondamentalement, l'IA, par le fait de pouvoir en permanence adapter le modèle en fonction des conditions d'usages, apporte :

- Plus de « précisions » dans la modélisation des mécanismes à surveiller,
- Une « personnalisation » de cette modélisation c'est à dire la prise en compte des caractéristiques du mécanisme dans sa configuration d'usage,
- Plus de « sensibilité » grâce à la réduction des « bruits » par le filtrage en amont des données de modélisation ,
- Plus d'« autonomie » par la réduction des interventions humaines sur le système.

Ces avancées des systèmes intelligents apportent de manière plus générale :

- Des garanties d'évitements des erreurs humaines,
- La possibilité de travailler sans interruptions, dans des conditions extrêmes avec des performances renforcées,
- La perspective de pouvoir faire face à la complexité croissante des systèmes par une exploitation plus systématique des lois empiriques pour décrire le comportement,
- De proposer des actions de sécurisation ultime lorsque le système est agressé par des pannes catastrophiques internes à ce dernier ou par des catastrophes naturelles.

Dans le cas d'une application de surveillance de la santé d'une personne âgée afin d'alerter le personnel médical en cas d'urgence, le suivi de son comportement en continue s'avère nécessaire. On imagine alors un appartement dont toutes les pièces

vont être équipées de capteurs de présence, les entrées-sorties de l'appartement étant également contrôlées. L'hypothèse forte que l'on exploitera est celle des « habitudes » : la personne a en effet tendance à répéter journalièrement ses caractéristiques de présence dans les différentes pièces de l'appartement, et à sortir de chez elles à des heures « fixes » (pas nécessairement chaque jour mais de manière similaire pour un/des jour(s) spécifiques semaine après semaine). Un mécanisme d'apprentissage mémorise l'information qu'il reçoit en permanence, en l'occurrence des capteurs de mouvement, l'utilisation des équipements de la maison, les horaires de lever, de coucher, de sortie... et détecte les écarts trop importants comme expliqués dans la partie 3. Cet apprentissage automatique des comportements (ou Machine Learning) se fonde sur une approche statistique (il en existe beaucoup d'autres : méthodes bayésiennes, arbres de décision, raisonnement à partir de règles...) [39]. Deux principales approches sont utilisées :

- celle de l'apprentissage supervisé effectué au lancement de la machine au cours duquel un opérateur tuteur présente un ensemble de situations de test qui vont permettre à la machine de déterminer, chaque fois que nécessaire, l'action à retenir parmi l'ensemble des actions possibles. Une fois cet apprentissage terminé, la machine est lancée en mode autonome. Elle ne pourra pas s'adapter aux changements de son environnement qui pourraient l'amener à modifier son comportement.
- celle de l'apprentissage non supervisé effectué en permanence mais sans connaissance préalable des situations.

La Figure 5.1 illustre le principe général de l'approche par apprentissage qui repose sur l'extraction de caractéristiques liées au comportement de la personne (taux de présence/absence, localisation, durée d'une activité...) à partir de données issues d'un système de capteurs (de présence par exemple) mais également liées à son profil personnel (niveau de fragilité ou de dépendance, habitudes de vie déclarées, profil de santé éventuel, vie sociale...). Ces caractéristiques sont alors mémorisées selon la technique d'apprentissage choisie (statistique, réseau de neurones, chaîne de Markov...). La sortie du processus doit permettre d'établir un premier diagnostic d'alerte de la situation.

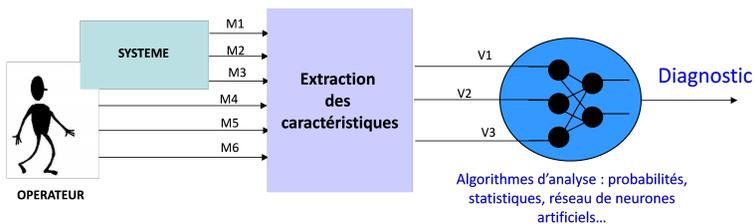


FIGURE 5.1. Principe général de l'approche par apprentissage

5.2. LES QUESTIONS POSÉES PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Les questions soulevées par l'utilisation de l'IA sont :

- de détecter au plus tôt le dysfonctionnement, c'est-à-dire accroître la précision et la sensibilité des modèles. Cela passe dans cet exemple par le filtrage des données erronées : accueil d'un visiteur dans l'appartement, et par la mise au point d'une modélisation par tranche horaire,
- comment opérer une correction continue des modèles dus à des facteurs d'influence tels les effets de vieillissement chez les personnes ou les effets saisonniers ?
- adapter l'intervention venant en réponse à l'alarme, à la situation de risques.

Cela suppose d'apprécier la situation de risques, connaître un inventaire des interventions possibles (voisins, famille, pompiers, centrale de surveillance...) et des critères de choix à appliquer.

Dans les exemples que nous avons traités, avec les éléments d'optimisations rappelés ci-dessus, on peut atteindre des précisions de 30 min, selon la tranche horaire considérée. C'est cette précision qui conditionne le seuillage du lancement d'alarmes ; c'est dire que, sur la seule prise en compte des habitudes il n'est pas possible d'assurer une intervention dans la demi-heure après, par exemple, une chute. La tendance a donc été d'adjoindre au système de surveillance un capteur de chute embarqué sur la personne, tendance aujourd'hui généralisée consistant à mettre sur les points les plus sensibles du système, un capteur de mesure directe du paramètre le plus directement concerné.

Pour compenser les effets de dérives, l'option retenue est de définir une fenêtre temporaire glissante d'estimation des paramètres : pour l'instant l'optimisation des paramètres de la fenêtre est empirique.

L'arbitrage du type d'intervention à privilégier prend nécessairement en compte la disponibilité des moyens envisagés pour l'intervention et fusionne deux critères :

- Celui voulu par la politique d'entreprise qui, pour des raisons d'intérêts supérieurs, va recommander de préserver certaines performances, de réduire certains coûts, etc.
- Celui qu'exige la totale maîtrise des risques encourus par la personne.

5.3. LA MODÉLISATION DES HABITUDES

Nous avons déjà évoqué le rôle progressivement pris par l'outil téléphone portable : il s'y développe d'innombrables applications qui représentent une part importante des développements de l'industrie du « numérique » par le simple fait de pouvoir en tous lieux communiquer et échanger des informations immédiatement exploitables.

Considérons cette dynamique dans le cadre de l'objet de cet article : la maison intelligente appliquée à la sécurisation des biens et des personnes et rappelons le concept de surveillance tel que nous le présentons sur la base d'une modélisation empirique du comportement de l'utilisateur. Nous avons, sur le plan de la modélisation, évoqué plusieurs approches, en fait très complémentaires : les modèles d'activités (présence, déplacements...), de marche (critères de Fried), des habitudes des personnes (suivi des

prescriptions, prises de médicaments), etc. Cette accumulation de modèles spécifiques caractérisant l'homme, son comportement, ses décisions, est le germe de la création d'une IA capable de suppléer l'homme dans certains de ses choix. Nous avons, dans une étude récente, exploré cette option particulièrement ambitieuse dans le cas de la sécurisation de l'habitat [10] : l'idée était de suppléer l'homme dans sa gestion de l'activation des alarmes. La figure 5.2 illustre le principe de modélisation du comportement habituel de l'utilisateur par la mise en relation de l'activation/désactivation d'une alarme de maison avec la présence/absence de son occupant. Ainsi, le système peut « prendre » la main en cas d'oubli de gestion de l'usager et d'échanger avec celui-ci au travers du téléphone portable pour l'avertir, et éventuellement pour prendre son avis et sa décision. La validation ou non par l'utilisateur est ensuite réinjectée dans le modèle afin de converger vers les bonnes décisions. Cette étape d'apprentissage est nécessaire et peut prendre un certain temps (les différentes expérimentations menées montrent que le modèle converge entre 7 à 15 jours d'observation).

Nous avons donc le téléphone portable, support, déjà en place et largement opérationnel, embarquant une « IA » capable de collecter, dans un cadre instrumenté, de l'information systématique sur les habitudes comportementales et décisionnelles de l'usager et de la consigner-actualiser sous la forme d'un modèle prédictif. Activé par l'usager, le modèle va pouvoir se positionner dans le contexte courant, détecter spontanément des alertes, proposer des actions et exceptionnellement les mettre en œuvre dans des cas de risques extrêmes.

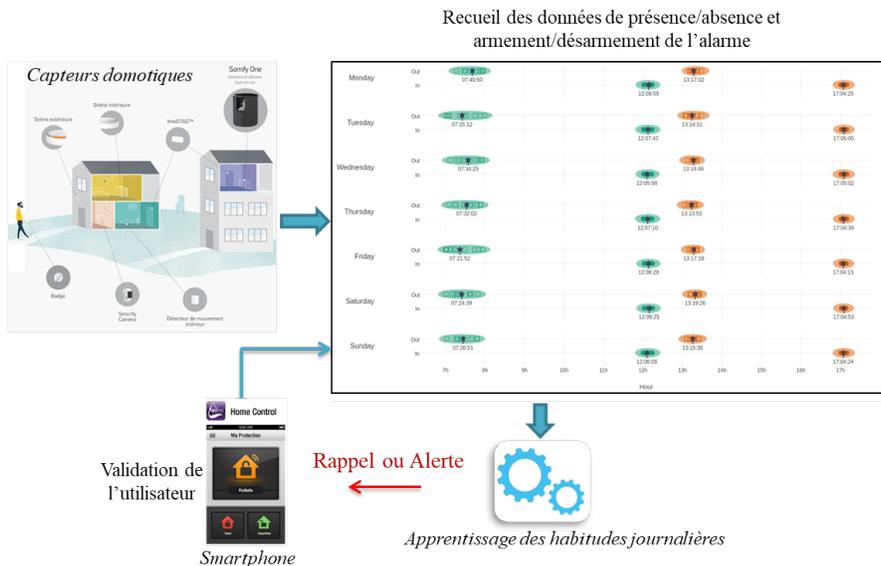


FIGURE 5.2. Apprentissage du comportement et aide à la décision de l'utilisateur : Application à l'activation/désactivation d'une alarme anti-intrusion

Cette « IA », inspirée des habitudes de l'utilisateur, implémentée dans le téléphone portable, devient alors une sorte de robot auxiliaire porté, avec lequel l'utilisateur va pouvoir converser et profiter des potentiels informatiques en mémorisation, en analyses décisionnelles (classifications et corrélations), pour finalement prendre une décision « personnalisée », la mieux documentée et la plus travaillée possible.

Cette « IA » peut être complémentarément et utilement, embarquée par un robot compagnon mobile ; il apportera tous les avantages de la mobilité : vérification des prédictions du modèle, explorations géographiques, modélisation de l'environnement, détection de phénomènes conjoncturels.

6. PERSPECTIVES : VERS UNE OUVERTURE À LA ROBOTIQUE D'ACCOMPAGNEMENT

Nous avons vu qu'il existe déjà des solutions d'intelligence ambiante s'appuyant sur un réseau distribué de dispositifs et/ou de services capables de communiquer entre eux et d'échanger de l'information. L'émergence de ces solutions est en partie le résultat de l'intérêt croissant qu'il y a eu autour du développement de ce que l'on a appelé l'Internet des Objets (IoT ou Internet of Things) avec un champ d'application privilégié qui est celui de la santé. On parle de santé connectée et de santé mobile (e-health, m-health) avec des objectifs de proposer des solutions pour l'aide au maintien à domicile, le suivi comportemental, physiologique de personnes âgées ou en retour d'hospitalisation [35]. Le concept de Wireless Body Area Network (WBAN) apparaît dans le même temps avec les avancées notamment autour de la communication (protocole, gestion énergétique, portée, taille des données,...) et des architectures réseaux qui ont permis de construire rapidement et facilement un petit écosystème de dispositifs pouvant s'échanger de l'information et participer ensemble à la prise de décision ou tout du moins aider à la prise de décision.

Comme nous l'avons précisé précédemment, ces dispositifs participent à la construction du/des modèle(s) comportemental(aux) habituel(s) de la personne, modèles enrichis par des informations contextuelles et environnementales permettant ainsi une prévision plus juste et pertinente. Les données à traiter deviennent plus nombreuses, le modèle plus riche. On migre vers ce que les AngloSaxons nomment le Deep Learning où la machine est capable d'apprendre des situations beaucoup plus complexes comme la reconnaissance de la parole, des visages, des textes...[43] mais au prix d'une capacité calculatoire beaucoup plus importante avec une réflexion essentielle à mener sur le déploiement matériel (GPU, RAM, ...). Cette puissance de calcul doit permettre d'améliorer les approches de classification que ce soit à travers l'image ou le son en exploitant par exemple davantage de couches d'un réseau de neurones et en l'exposant à une quantité beaucoup plus importante de données en tirant parti des avancées significatives dans le domaine du Big Data [59]. Le Deep Learning qui n'est qu'une composante de l'IA permet au système d'apprendre par lui-même, notamment à travers ses erreurs. On parvient alors à une modélisation très fidèle de la réalité qui pour un robot d'assistance équipé de dispositifs de vision et de détection est essentiel afin d'une part d'assurer sa mission en cas de situation d'urgence et d'autre part de ne pas mettre en

danger la personne. Avec les évolutions matérielles à venir, les capacités calculatoires (temps d'exécution, puissance, mémoire...) progresseront et seront peut-être envisageable dans des dispositifs embarqués. Les ordinateurs quantiques pourraient permettre de dépasser les limites matérielles que tout supercalculateur finit par atteindre.

Il reste cependant des verrous qu'un réseau d'objets intelligents (ou embarquant une IA) ne parviennent pas encore à résoudre à l'heure actuelle quelle que soit la capacité de calcul mise en place. Même s'il parvient à définir un modèle le plus proche possible de la réalité, le serveur central, cerveau de ce réseau, a très souvent besoin que l'utilisateur final le guide, du moins au début, pour confirmer ou infirmer ses prévisions, informations qu'il est parfois difficile à obtenir et pouvant freiner l'utilisation et l'adhésion du système par la personne [25]. Les données de départ sont donc essentielles : plus le système accumule d'expériences différentes, plus il sera performant. D'autre part, les travaux présentés dans cet article proposent généralement des réseaux de dispositifs dans lesquels on ne retrouve aucun actionneur, c'est-à-dire aucun dispositif qui interagit, agit ou guide la personne suite à la prise de décision. C'est dans cette optique que l'utilisation d'un automatisme ou d'une robotique qu'elle soit d'assistance, compagnon ou de rééducation pourrait s'avérer intéressante et complémentaire. On peut citer les agents conversationnels ou « chatbots » qui permettent par exemple de rompre l'isolement des personnes vivant seules [29]. Programmés pour simuler une conversation en langage naturel, ces logiciels peuvent également leur rappeler de prendre leurs médicaments, enregistrer les conversations pour aider les personnes atteintes d'Alzheimer, via des jeux de mémoire... On peut citer également les robots (Paro, Roméo, Max, Robear...) qui ont déjà commencé à envahir les maisons et certains établissements pour personnes âgées. Dotés de capteurs et de logiciels d'IA, certains sont désormais capables de réagir au toucher, au son, à la lumière, de reconnaître leur nom et de s'adapter aux attentes de leurs interlocuteurs.

En effet, en parallèle du développement de l'intelligence ambiante, les robots ont été l'objet de nombreuses avancées dans le domaine de la santé, domaine où ils doivent interagir énormément avec les personnes. On retrouve des robots qui aident à la rééducation, qui assistent les personnes dans leur activité de vie quotidienne, qui maintiennent un lien social avec l'extérieur ou qui apportent les premiers secours en cas de situation d'urgence. L'interaction homme-robot est donc au centre de toutes les préoccupations et implique des besoins en termes de localisation des personnes et des objets, de compréhension des besoins, préférences et réactions de la personne (expression qui est très souvent subjective), de déplacement dans un environnement « mouvant »... [36].

La construction de cette interaction passe donc par la collecte de plusieurs sources d'informations embarquées sur le robot et par leur traitement. On voit ainsi l'intérêt qu'un robot pourrait tirer de la multitude d'informations que peut fournir une intelligence ambiante couplée à des données recueillies sur le cloud et affiner ainsi ces algorithmes de localisation, de reconnaissance de l'activité, de prise de décision en cas de situation de danger, d'aide aux déplacements ou à la prise de médicaments (Figure 6.1).

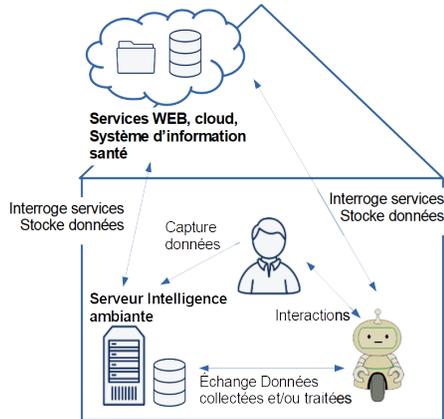


FIGURE 6.1. Interaction entre l'humain, l'intelligence ambiante et le robot pour la sécurisation de la personne dans son environnement de vie

Dans [33], on retrouve cette analyse et l'idée d'un scénario où le trio humain, intelligence ambiante et robot serait amené à interagir pour réaliser un objectif commun. Les auteurs dressent un panorama non exhaustif des robots et des technologies de l'Internet des objets qui pourraient rentrer dans le cadre de ce scénario notamment dans le domaine de la santé; ils soulèvent également un certain nombre de questions auxquelles des travaux autour de ce qu'ils désignent comme la robotique aidée par l'IoT (ou l'Internet of Robots) devraient apporter des solutions. Il reste en effet des inconnues par exemple autour de la sécurité des protocoles de communication et du stockage des données dans l'IoT, du niveau d'abstraction nécessaire pour assurer la communication entre les différentes entités (développement entre autre d'approches sémantiques) et organiser la prise de décision (qui prend la décision? Est-ce que le robot peut décider à la place de l'humain même dans des cas très particuliers? Est-ce que les rôles peuvent changer pendant la réalisation de la tâche?...).

Chaque domaine, l'IoT d'un côté et la robotique de l'autre, a en effet vu le développement d'architectures, de frameworks plus ou moins uniformisés pour le déploiement de services d'AAL (Active Assisted Living) mais qui n'ont pas été réfléchis pour interagir entre eux. Il existe des solutions pour déployer une intelligence ambiante telles que UniversAAL, CASAS ou OpenHAB et d'autres pour la robotique notamment ROS (Robot Operating System). Dans [5], un projet européen nommé ENRICHME (Enabling Robot and assisted living environment for Independent Care and Monitoring of the Elderly) propose une approche couplant un robot (plateforme mobile équipée de caméras, capteurs lasers, capteurs de température...), une intelligence ambiante (détecteur de présence, détecteur de contact, tag RFID...) et des technologies web (dossier médical) pour réaliser la surveillance et l'amélioration de l'autonomie de personnes âgées atteintes de troubles cognitifs. Une architecture couplant ROS, OpenHAB et

UniversAAL est ainsi proposée permettant de couvrir davantage de besoins, de garantir une redondance, et d'interfacer plusieurs technologies filaires et non filaires pour répondre à une même problématique.

Il y a pour le moment encore très peu d'initiatives proposant des solutions car cela soulève de nombreux verrous cités précédemment.

7. CONCLUSION

En conclusion, cette analyse de l'évolution récente des technologies de l'habitat appliqué à la protection des personnes et des biens montre qu'elle débouche, avec l'appui des technologies numériques, actuellement bien déployées dans les domiciles, à l'image du téléphone portable ou de la tablette tactile, sur l'idée de la conception en œuvre d'une application nouvelle. L'IA sur laquelle est basée cette application nouvelle est construite sur la base d'une modélisation empirique des habitudes, à partir des observations systématiques des activités, des comportements, des décisions de l'utilisateur et leurs recopies algorithmiques. Ceci conduit à un concept nouveau de « robot auxiliaire » qui peut favorablement s'intégrer dans un « robot mobile » pour bénéficier des avantages complémentaires de la mobilité. L'interaction homme-robot est aujourd'hui au centre de toutes les préoccupations scientifiques à la croisée des disciplines de la Robotique, des Interfaces Homme-Machine et des sciences humaines et sociales. Des questionnements fondamentaux du type : Comment communiquer avec le Robot ? Comment s'adapter à un environnement changeant ? Comment s'adapter à l'humain et percevoir son besoin ou attente à un moment donné ? Comment réagir à des situations critiques ou à risques ? ... [50].

Le couplage de l'IA et de la Robotique d'assistance ou compagnon doit permettre de développer des robots capables de collaborer et de « vivre » au contact des hommes. On est à l'interface de la cognitive et du facteur humain (comportement, décision, robustesse et contrôle de l'erreur), de la biomécanique (modélisation du comportement et de la dynamique des mouvements) et de la robotique. Pour compléter le système, des capteurs sont nécessaires afin de fournir en permanence au robot des données relatives à l'environnement ou à la personne (données physiologiques de santé, données ambiantes de l'habitat, données liées aux actions ou interactions de la personne avec son environnement de vie...) qui vont le faire évoluer en s'adaptant au mode de vie de la personne.

Enfin, relativement au modèle économique, la diffusion de ces technologies nouvelles de sécurisation de biens et des personnes se heurte, nous venons de le voir, à des questions d'organisations de la Société, de coopérations entre les différents acteurs de terrain et de formations de chacun d'eux à ces nouvelles pratiques... La diffusion est aussi ralentie par l'importance des coûts cumulés d'investissements et de fonctionnements lorsque l'on veut assurer un service performant 24 h/24 : les mutuelles d'assurances, la Sécurité Sociale, les Associations spécialisées, les soignants, le monde de l'assistance à domicile, les industriels, tous ces acteurs sont à la tâche pour trouver des solutions acceptables qui répartissent raisonnablement les charges ; l'importance et l'urgence des enjeux jouent pour des décisions rapides.

8. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les différents collègues et partenaires académiques et industriels ayant participé aux projets référencés dans cet article. Certains de ces projets ont été soutenus par l'ANR et par la région Occitanie.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. R. ALAM, M. B. REAZ & M. A. ALI, « A review of smart homes – Past, present, and future », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* **42** (2012), n° 6, p. 1190-1203.
- [2] A. ANFOSSO & S. REBAUDO, « Gérontechnologies et contrôle de l'environnement au service du maintien à domicile : le projet GERHOME », *Gérontologie et société* **34** (2011), n° 1, p. 119-131.
- [3] A. AZTIRIA, A. IZAGUIRRE & J. C. AUGUSTO, « Learning patterns in ambient intelligence environments: a survey », *Artificial Intelligence Review* **34** (2010), n° 1, p. 35-51.
- [4] F. BARNIER & R. CHEKKAR, « Conditions d'acceptabilité d'une technologie de domotique dans les contextes professionnels de service », *Communication management* **14** (2017), n° 2, p. 53-80.
- [5] N. BELLOTTO, M. FERNANDEZ-CARMONA & S. COSAR, « ENRICHME integration of ambient intelligence and robotics for AAL », in *Wellbeing AI: From Machine Learning to Subjectivity Oriented Computing (AAAI 2017 Spring Symposium)* (Stanford, CA), 2017.
- [6] S. BONHOMME, É. CAMPO, D. ESTÈVE & J. GUENNEC, « An extended PROSAFE platform for elderly monitoring at home », in *29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBECE 2007)* (Lyon), 2007, p. 4056-4059.
- [7] ———, « PROSAFE-extended, a telemedicine platform to contribute to medical diagnosis », *Journal of Telemedicine and Telecare* **14** (2008), n° 3, p. 116-118.
- [8] W. BOURENNANE, Y. CHARLON, F. BETTAHAR, M. CHAN, D. ESTÈVE & É. CAMPO, « Ambient intelligence for monitoring Alzheimer patients », *International Journal of E-Health and Medical Communications* **4** (2013), n° 1, p. 23-35.
- [9] A. K. BOURKE, P. VAN DE VEN, M. GAMBLE, R. O'CONNOR, K. MURPHY, E. BOGAN, E. MCQUADE, P. FINUCANE, G. Ó. LAIGHIN & J. NELSON, « Evaluation of waist-mounted tri-axial accelerometer based fall-detection algorithms during scripted and continuous unscripted activities », *Journal of Biomechanics* **43** (2010), n° 15, p. 3051-3057.
- [10] D. BRULIN, É. CAMPO, C. ESCRIBA, S. ZEDEK, J. Y. FOURNIOLS, J. M. PRUNET, S. BACOU, M. CHAFFIK & F. NIECERON, « Projet Sm@rtFOX. Pour un habitat interconnecté au service de l'homme », Rapport de Contrat : Projet Sm@rtFOX. Rapport scientifique, 2015.
- [11] É. CAMPO, S. BONHOMME, M. CHAN & D. ESTÈVE, « Learning life habits and practices: an issue to the smart home », in *4th International Conference On Smart homes and health Telematic, Smart homes and beyond, ICOST'2006* (Belfast, Irlande), 2006, p. 355-358.
- [12] É. CAMPO, S. BONHOMME, D. ESTÈVE & J. GUENNEC, « Remote monitoring of elderly in rural zones using multisensors system and satellite communication », in *International Conference On Smart homes and health Telematics -- ICOST2008, Gerontechnology: Enhancing the Quality of Life for Rural Elders* (Iowa State University), 2008.
- [13] É. CAMPO, D. BRULIN, Y. CHARLON & A. PIAU, « A smart sensing device for monitoring the frail people at home », in *Conference of ISOCS-MiNaB-ICT-MNBS* (Otranto, Italie), 2016.
- [14] É. CAMPO, M. CHAN, S. BONHOMME, C. ESCRIBA & D. ESTÈVE, « Intégration multifonctionnelle pour un habitat intelligent : spécifications des détecteurs de présence et perspectives », *Technique et Science Informatiques* **27** (2008), n° 7, p. 823-850.
- [15] É. CAMPO, M. CHAN, W. BOURENNANE & D. ESTÈVE, « Remote monitoring platforms for prevention and detection of elderly deviant behavior », in *International Conference E-Medical Systems* (Fes, Maroc), 2010.
- [16] É. CAMPO, Y. CHARLON & D. BRULIN, « Instrumented insole for weight measurement of frail people », in *International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA)* (Corfu, Grèce), 2015.

- [17] É. CAMPO, D. HEWSON, C. GEHIN & N. NOURY, « Sensors, wearable devices, intelligent networks and smart homecare for health », *IRBM BioMedical Engineering and Research, Special Issue: Digital technologies for healthcare* **34** (2013), n° 1, p. 11-13.
- [18] M. CHAN, H. BOCQUET, É. CAMPO, T. VAL & J. POUS, « Alarm communication network to assist carers of the elderly for safety purposes: a survey of a project », *International Journal of Rehabilitation Research* **22** (1998), p. 131-136.
- [19] M. CHAN, É. CAMPO & D. ESTÈVE, « Assessment of elderly activity using a home monitoring systems », *International Journal of Rehabilitation Research* **28** (2005), n° 1, p. 69-75.
- [20] M. CHAN, É. CAMPO, E. LAVAL & D. ESTÈVE, « Validation of a remote monitoring system for the elderly: Application to mobility measurement », *Technology and Health Care* **10** (2002), n° 5, p. 391-399.
- [21] M. CHAN, D. ESTÈVE, C. ESCRIBA & É. CAMPO, « A review of smart homes – Present state and future challenges », *Computer Methods and Programs in Biomedicine* **91** (2008), p. 55-81.
- [22] M. CHAN, C. HARITON, P. RINGEARD & É. CAMPO, « Smart House Automation System for the Elderly and the Disabled », in *1995 International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Intelligent system for the 21st century* (Vancouver), vol. 2, 1995, p. 1586-1589.
- [23] Y. CHARLON, É. CAMPO & D. BRULIN, « Design and evaluation of a smart insole: Application for continuous monitoring of frail people at home », *Expert Systems with Applications* **95** (2018), p. 57-71.
- [24] M. DAHER, A. DIAB, M. E. N. EL BADAoui, M. KHALIL & F. CHARPILLET, « Elder Tracking and Fall Detection System using Smart Tiles », *IEEE Sensors Journal, Institute of Electrical and Electronics Engineers* **17** (2017), n° 2, p. 469-479.
- [25] J. B. DAYEZ & F. DELPÉRÉE, « Comment les aînés appréhendent-ils les gérontechnologies ? », Balises, Journal des cadres d'Énéo, mouvement social des aînés. Trimestriel n° 46 | Mai-Juin-Juillet 2014, 2014.
- [26] K. DE MIGUEL, A. BRUNETE, M. HERNANDO & E. GAMBAO, « Home Camera-Based Fall Detection System for the Elderly », *Sensors* **17** (2017), n° 12, article no. 2864.
- [27] G. DEMIRIS & B. K. HENSEL, « Technologies for an aging society: a systematic review of “smart home” applications », *Yearbook of medical informatics* **17** (2008), n° 1, p. 33-40.
- [28] J. DEMONGEOT, G. VIRONE, F. DUCHÈNE, G. BENCHÉTRIT, T. HERVÉ, N. NOURY & V. RIALLE, « Multi-sensor acquisition, data fusion, knowledge mining and alarm triggering in health smart homes for elderly people », *Comptes Rendus Biologies* **325** (2002), n° 6, p. 673-682.
- [29] « ElliQ : Le robot pour les séniors », 2017, <https://www.tomsguide.fr/elliq-le-robot-pour-le-seniors/>.
- [30] D. ESTÈVE, « Conclusions de la commission d'experts habitat Intelligent », Rapport CNRS-SPI, Développement des Soins à Domicile, Mars 1997.
- [31] A. FLEURY, N. NOURY & M. VACHER, « Improving Supervised Classification of Activities of Daily Living Using Prior Knowledge », *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)* **2** (2011), n° 1, p. 17-34.
- [32] L. P. FRIED, C. M. TANGEN, J. WALSTON, A. B. NEWMAN, C. HIRSCH, J. GOTTDIENER & M. A. MCBURNIE, « Frailty in older adults: evidence for a phenotype », *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* **56** (2001), n° 3, p. 146-156.
- [33] L. A. GRIECO, A. RIZZO, S. COLUCCI, S. SICARI, G. PIRO, D. DI PAOLA & G. BOGGIA, « IoT-aided robotics applications: Technological implications, target domains and open issues », *Computer Communications* **54** (2014), p. 32-47.
- [34] B. HAJJINE, C. ESCRIBA, D. MEDALE & J. Y. FOURNIOLS, « Design, integration and characterization of a tracking patch: application to elderly monitoring », *Journal of EHealth Telecommunication Systems and Networks* **5** (2016), n° 3, p. 57-74.
- [35] R. KAMPMEIJER, M. PAVLOVA, M. TAMBOR, S. GOLINOWSKA & W. GROOT, « The use of ehealth and m-health tools in health promotion and primary prevention among older adults: a systematic literature review », *BMC Health Services Research* **16** (2016), article no. 290.
- [36] W. G. KENNEDY, M. D. BUGAJSKA, M. MARGE, W. ADAMS, B. R. FRANSEN, D. PERZANOWSKI, A. C. SCHULTZ & J. G. TRAFTON, « Spatial Representation and Reasoning for HumanRobot Collaboration », in *Proceedings of AAAI Conference*, 2007, p. 1554-1559.
- [37] S. S. KHAN & J. HOEY, « Review of fall detection techniques: A data availability perspective », *Medical Engineering & Physics* **39** (2017), p. 12-22.

- [38] A. KORCHUT, S. SZKLENER, C. ABDELNOUR, N. TANTINYA, J. HERNÁNDEZ-FARIGOLA, J. C. RIBES & K. REJDAK, « Challenges for Service Robots – Requirements of Elderly Adults with Cognitive Impairments », *Frontiers in Neurology* **8** (2017), p. 228.
- [39] S. B. KOTSIANTIS, I. ZAHARAKIS & P. PINTELAS, « Supervised machine learning: A review of classification techniques », *Emerging artificial intelligence applications in computer engineering* **160** (2007), p. 3-24.
- [40] L. LIU, E. STROULIA, I. NIKOLAIDIS, A. MIGUEL-CRUZ & A. R. RINCON, « Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: A systematic review », *International journal of medical informatics* **91** (2016), p. 44-59.
- [41] E. MCAULEY, K. S. MORRIS, R. W. MOTL, L. HU, J. F. KONOPACK & S. ELAVSKY, « Long-term follow-up of physical activity behavior in older adults », *Health Psychology* **26** (2007), n° 3, p. 375-380.
- [42] H. MEDIAHED, D. ISTRATE, J. BOUDY & B. DORIZZI, « Human activities of daily living recognition using fuzzy logic for elderly home monitoring », in *IEEE International Conference on Fuzzy Systems* (Jeju Island), 2009, p. 2001-2006.
- [43] K. NEWMAN, « The case for the narrative brain », in *Proceedings of the second Australasian conference on Interactive entertainment*, 2005, p. 145-149.
- [44] Y. NHO, J. G. LIM, D. KIM & D. KWON, « User-adaptive fall detection for patients using wristband », in *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (Daejeon), 2016, p. 480-486.
- [45] P. NOURY, N. AND PILICHOWSKI, « A Telematic System Tool For Home Health Care », in *14th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 3, 1992.
- [46] OPECST, « Pour une intelligence artificielle maîtrisée, utile et démythifiée », Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, n° 464 tome I <http://www.senat.fr/notice-rapport/2016/r16-464-2-notice.html>, Mars 2017.
- [47] A. PANTELOPOULOS & N. G. BOURBAKIS, « A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* **40** (2010), n° 1, p. 1-12.
- [48] A. PIAU, Y. CHARLON, É. CAMPO, V. B. & F. NOURHASHEMI, « A smart insole to promote healthy aging for frail elderly individuals: specifications, design, and preliminary results », *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies* **2** (2015), n° 1, article no. E5.
- [49] PREDICAL, « Tél-vigilance », <https://www.predical-services.fr/>.
- [50] A. M. SEELYE, K. V. WILD, N. LARIMER, S. MAXWELL, P. KEARNS & J. A. KAYE, « Reactions to a Remote-Controlled Video-Communication Robot in Seniors' Homes: A Pilot Study of Feasibility and Acceptance », *Telemed J E Health* **18** (2012), n° 10, p. 755-759.
- [51] SENIORADOM, « Téléassistance Senioradom », <https://www.senioradom.com/>.
- [52] S. Y. SIM, H. S. JEON, G. S. CHUNG, S. K. KIM, S. J. KWON, W. K. LEE & K. S. PARK, « Fall detection algorithm for the elderly using acceleration sensors on the shoes », in *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (Boston, MA), 2011, p. 4935-4938.
- [53] SMUR 15, « Référentiel et guide d'évaluation », Juin 2013.
- [54] T. TAMM, K. PÄRLIN, T. TIIMUS, K. LEEMETS, T. TERASMAA & I. MUST, « Smart insole sensors for sports and rehabilitation », in *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, vol. 9060, 2014.
- [55] TECHNIQUES HOSPITALIÈRES, « Revue des technologies de la santé », SPH Editions, <https://www.techniques-hospitalieres.fr/>, 2018.
- [56] TELEGRAFIK, « Service Otono-me », <https://www.telegrafik.fr/>.
- [57] J. P. THOMESSE, D. BELLOT, A. BOYER, É. CAMPO, M. CHAN, F. CHARPILLET, J. FAYN, C. LESCHI, N. NOURY, V. RIALLE, L. ROMARY, P. RUBEL, F. STEENKESTE & G. VIRONE, « Integrated Information technologies for patients remote follow up and home care », in *International Conference of HealthCom* (L'Aquila, Italie), 2001, p. 3-15.
- [58] UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS/POPULATION DIVISION, « World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables, ESA/P/WP/248 », https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/WPP2017_KeyFindings.pdf, 2017.

- [59] V. VIMARLUND & S. WASS, « Big Data, Smart Homes and Ambient Assisted Living », *Yearbook Medical Informatics* **9** (2014), n° 1, p. 143-149.
- [60] N. ZOUBA, F. BREMOND, A. ANFOSSO, M. THONNAT, E. PASCUAL & O. GUERIN, « Monitoring elderly activities at home », *Gerontechnology* **9** (2010), n° 2, p. 263-263.

ABSTRACT. — The instrumentation of housing is a potential for technological and industrial developments identified for more than thirty years, which has progressively displayed several ambitions: from the idea of home automation to that of smart home. This article focuses on the securing of goods and people, particularly considering the case of “frail” people monitoring at home. Two stages of development are reminded and characterized: the nonobtrusive instrumentation of the housing, then the mixing of a coupled instrumentation of the housing and the user. The technological principles are described and it can be concluded that the technologies are ready for a wide and rapid diffusion, if the social organization agrees to meet the needs of 24 h/7 d security surveillance, with all the guarantees that it offers. The article then considers more prospectively the paths of progress that R&D is taking through the implementation of Artificial Intelligence (AI) technologies to model the behavioral and decision-making habits of the user and their integration on a mobile phone. It could be considered, in practice, as an embedded auxiliary robot for decision support, whose function could be complementary and usefully embedded on a companion robot to exploit the capabilities of autonomous and directed mobility.

KEYWORDS. — Connected home, instrumentation, elderly, frailty, decision support, artificial intelligence, robotics, embedded systems.

Manuscrit reçu le 28 septembre 2018, accepté le 25 octobre 2022.