



HAL
open science

L’habitat intelligent : un lieu de conception des technologies pour l’autonomie des personnes

Damien Brulin, Eric Campo, Thierry Val, Adrien van den Bossche, Frédéric Vella, Nadine Vigouroux

► To cite this version:

Damien Brulin, Eric Campo, Thierry Val, Adrien van den Bossche, Frédéric Vella, et al.. L’habitat intelligent : un lieu de conception des technologies pour l’autonomie des personnes. *Revue Ouverte d’Intelligence Artificielle*, 2023, 4 (1), pp.21-51. 10.5802/roia.49 . hal-04126824

HAL Id: hal-04126824

<https://laas.hal.science/hal-04126824>

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



DAMIEN BRULIN, ÉRIC CAMPO, THIERRY VAL, ADRIEN VAN DEN BOSSCHE,
FRÉDÉRIC VELLA, NADINE VIGOUROUX

L'habitat intelligent : un lieu de conception des technologies pour l'autonomie des
personnes

Volume 4, n° 1 (2023), p. 21-51.

<https://doi.org/10.5802/roia.49>

© 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

L'habitat intelligent : un lieu de conception des technologies pour l'autonomie des personnes

Damien Brulin^a, Éric Campo^a, Thierry Val^b, Adrien van den Bossche^b, Frédéric Vella^b, Nadine Vigouroux^b

^a LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UT2J, Toulouse, France
E-mail : dbrulin@laas.fr, ecampo@laas.fr

^b IRIT-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UT2J, UT3, Toulouse, France
E-mail : val@irit.fr, vandenbo@irit.fr, vella@irit.fr, vigouroux@irit.fr.

RÉSUMÉ. — Le « Bien vieillir à son domicile » est une préoccupation majeure de notre société où l'innovation technologique permet aux personnes d'être plus autonomes et de vivre dans leur lieu de vie avec un meilleur niveau de sécurité. Cependant, pour parvenir à concevoir des solutions adaptées et efficaces, il est nécessaire de soigner la conception et l'évaluation des technologies proposées. Dans cet article, nous détaillons l'intérêt que présente l'apport d'une structure telle qu'un habitat intelligent dans ce processus de conception et d'évaluation en prenant comme exemple la plateforme « Maison Intelligente de Blagnac ».

MOTS-CLÉS. — Maison intelligente, habitat, conception, intelligence ambiante, usage, autonomie, vieillissement, méthodes d'observations.

1. INTRODUCTION

La durée d'allongement de la vie entraîne une augmentation du nombre de personnes dépendantes ou en perte d'autonomie [60]. Les besoins identifiés chez les personnes âgées fragiles ou en situation de handicap sont principalement le renforcement de la sécurité au quotidien et la diminution du sentiment d'isolement due à une perte des liens sociaux [79]. De même, les défis à relever ont été mis en évidence pour les systèmes d'assistance à l'autonomie à domicile [27]. La question du soutien à domicile est justifiée par une nécessité sociale et par des aspirations individuelles à rester le plus longtemps possible dans son habitat, ou encore par une nécessité économique pour réduire les dépenses de santé et de protection sociale.

Actuellement, un français sur trois a plus de 50 ans et l'on observe une nette augmentation de la population de plus de 80 ans, qui s'accompagnera, d'ici 2060 [30], d'une multiplication par deux du nombre de personnes âgées dépendantes. En 2060, le nombre de personnes dépendantes de 60 ans et plus aura augmenté de 50 %. Près de 30 % des plus de 65 ans sont des personnes dites fragiles [34] et 10 % sont

dépendantes. Cette évolution démographique s'accroît inexorablement. L'accompagnement et l'aide aux personnes âgées en situation de fragilité ou de perte d'autonomie, dans leur environnement de vie, sont donc devenus des enjeux sociaux et sociétaux. Ils répondent à un besoin de confort et de bien vieillir d'autant plus que plus de 93 % des personnes françaises interrogées en 2017 expriment le souhait de rester le plus longtemps possible à domicile [39].

Ainsi, il paraît clair que la société doit évoluer pour prendre en compte ce changement de profil de la population, notamment par une adaptation des conditions de vie de ces personnes. Des changements doivent s'opérer pour l'aide à la mobilité pour l'accès au transport, aux activités culturelles, sportives ou aux loisirs par exemple. L'accès à la santé par des actions de prévention plus ciblées et plus efficaces, pour l'accès à l'information et au numérique représente également un enjeu majeur. Enfin, la réalisation autonome des activités quotidiennes dans le domicile est une attente largement exprimée par les utilisateurs (aidants, habitants). Le chantier est vaste mais nécessaire. La question que nous souhaitons traiter dans cet article est celle de la place et de l'apport des plateformes de type « habitats intelligents », et des Living Labs de manière plus générale [65], pour la conception de solutions technologiques, par des équipes pluridisciplinaires, adaptées dans le champ de l'autonomie et de l'intelligence ambiante.

L'arrivée dans les années 2000 du concept d'Intelligence Ambiante a permis le développement d'environnements numériques « intelligents » et « ubiquitaires » qui aident les utilisateurs dans leurs tâches quotidiennes, personnelles et professionnelles. Les habitats intelligents ont été les premiers à bénéficier de ce nouveau concept en permettant d'offrir à leurs occupants une meilleure qualité de vie par l'introduction d'un contrôle automatisé des appareils et des services d'assistance. [23] puis [1] ont fait un bilan des challenges passés et futurs du concept de Maison Intelligente. L'utilisation des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) et leur évolution permanente offre aux personnes fragiles ou handicapées des solutions pour mieux vivre en leur donnant les moyens d'être plus autonomes dans leur environnement de vie [28]. Les objets connectés et les assistants personnels (Amazon Echo, Amazon Fire TV Cube, Google Home, Siri... [3]) se multiplient dans les habitats pour leur domotisation, la sécurité des résidents, l'accès à des informations numériques, etc. Ces évolutions technologiques permettent l'émergence de nouveaux usages dans des domaines variés tels que le bien-être et la sécurité des personnes, l'assistance aux personnes âgées ou en situation de handicap, la communication avec l'entourage familial ou professionnel, etc. Si l'apport des technologies de l'information et de la communication au travers du concept de Health Smart Home (Habitats Intelligents en Santé) [57] est indéniable, leur généralisation pose encore des problématiques :

- d'ordre conceptuel – Comment concevoir des systèmes adaptés, acceptés et accessibles aux personnes âgées ? [9, 75]
- d'architecture et d'ingénierie des réseaux et protocoles de communication – Quelles difficultés posent l'interopérabilité des objets connectés ? [8]

- de recueils de données importantes – Comment considérer des données hétérogènes pour l'étude de l'actimétrie et de la télésurveillance des personnes fragilisées ?
- d'ordre éthique – Traiter la question de l'intrusion des technologies dans le domicile des personnes suivies

Pour concevoir des solutions adaptées (dispositifs médicaux connectés, supports d'interaction mobiles, systèmes de communication, système de stimulation cognitive, de motivation d'activité physique ou nutritionnelle, etc.), il est nécessaire de concevoir avec et pour les seniors [33], et, pour y parvenir, d'observer leur comportement en situation d'usage.

Dans le cadre de cet article, nous proposons de présenter la place que peut tenir une plateforme de type Maison Intelligente pour la conception et l'observation de systèmes dédiés au bien vieillir et à l'assistance aux personnes âgées. Dans une première partie, nous discuterons du rôle des habitats ou maisons intelligentes dans le cadre de l'approche Living Lab dans le champ de l'autonomie, puis nous présenterons plus spécifiquement la Maison Intelligente de Blagnac (MIB). L'infrastructure technique et les méthodes de conception de la MIB seront décrites. Un exemple de mise en œuvre des méthodes d'observations sera présenté. Enfin, nous présenterons quelques challenges à mener issus de notre expérience et terminerons par une conclusion et des perspectives ouvertes par l'Intelligence Artificielle (IA).

2. ÉVOLUTION DU CONCEPT D'HABITAT INTELLIGENT VERS CELUI DU LIVING LAB

2.1. L'HABITAT INTELLIGENT

L'habitat est un domaine qui a constamment évolué au cours du temps au rythme des innovations technologiques offrant à ses occupants des fonctionnalités toujours nouvelles pour assurer leur confort, leur bien-être et leur sécurité [13]. Les premiers habitats connectés sont apparus au début des années 1980 avec l'émergence de la domotique issue de la miniaturisation des systèmes électroniques, de l'amélioration des capacités de communications réseaux, et de l'augmentation de la puissance de calcul informatique. L'intégration de l'électronique dans les produits domestiques a contribué à l'amélioration des performances et à la réduction de la consommation énergétique des équipements grâce à une gestion plus intelligente de leurs fonctionnalités. L'arrivée d'Internet a ensuite ouvert la voie à l'accès à distance de ces équipements, de leur programmation et à des perspectives d'applications de services considérables. L'utilisateur redevient maître de son habitat grâce à des outils technologiques plus performants. L'habitat domotisé devient également plus sécurisé, plus connecté, plus intelligent et la façon de le concevoir évolue : prise en compte des besoins en gestion des flux, en optimisation spatiale, en interaction pervasive [78], en sécurité, en technologie d'autonomie... L'habitat se transforme, il intègre encore plus d'automatisation et intègre des capacités de détection et de décision dans un environnement informatique ubiquitaire.

Outre la dimension dominante de l'informatique, l'habitat intelligent tel que représenté dans les années 2010 évolue pour s'adapter au besoin réel de son occupant. Il se veut plus centré utilisateur, s'éloignant de l'approche technophile caractéristique de la « domotique des années 1990 » [43]. L'habitat intelligent offre aujourd'hui la capacité de renforcer l'autonomie de personnes fragiles ou en perte d'autonomie (malvoyants (Homelab⁽¹⁾), personnes âgées ([46, 58]), malades, etc.), grâce à des capteurs et actionneurs judicieusement positionnés et connectés en réseau à un serveur de calcul de données. Les ressources de calcul sont aujourd'hui suffisamment importantes pour embarquer des algorithmes avancés tirés de l'Intelligence Artificielle (IA) qui permettent de modéliser, à partir des données recueillies, le comportement et les habitudes de vie des usagers et d'apporter des réponses technologiques à la problématique du vieillissement et de l'autonomie à domicile [83]. Par exemple, il est aujourd'hui possible de suivre de manière continue l'évolution d'indicateurs liés à l'activité de la personne dans son environnement de vie (distance de marche, présence et temps de séjour dans une pièce, utilisation des équipements...) et de modéliser ce comportement comme base de référence. Le système de calcul compare alors de manière automatique le comportement spatio-temporel courant avec le modèle de référence pour en déduire un écart détection d'activités anormales. Suivant la valeur des seuils définis pour ces écarts, un système informatique décisionnel décidera de lancer les actions adaptées : mettre l'habitat en mode de sécurité ou de confort (on peut imaginer par exemple l'extinction des appareils électriques, la fermeture de l'arrivée d'eau, l'ouverture des accès, le déclenchement de caméras, en cas de chute, le déclenchement d'un message d'alerte en direction de professionnels ou d'aidants, prédire une situation de danger imminente à l'usager...

Plusieurs études ont été réalisées afin de référencer les différents projets ou réalisations d'habitats intelligents. Dans [23], les auteurs dressent un panorama des maisons intelligentes avec une classification par pays et continent (États-Unis, Asie, Europe et Australie) et introduisent également le couplage de dispositifs portés par la personne avec l'assistance robotique dans un contexte de maison intelligente [2]. Il ressort notamment que la modélisation comportementale de la personne constitue également une thématique de recherche importante, l'idée étant d'être capable, comme nous l'avons évoqué ci-dessus, de connaître et reconnaître les habitudes de vie de la personne à travers ses mouvements [53], ses activités [25], sa localisation dans l'environnement ambiant [6] ou ses interactions avec la maison [83] ou de détection d'activités anormales [51].

Ce point de vue d'un habitat intelligent purement technologique ne peut plus être envisagé seul mais dans une approche plus large faisant de l'usage et du service proposés un enjeu sociétal et économique.

2.2. LE CONCEPT DE LIVING LAB

Partant du constat que c'est davantage l'usage du produit ou du service par l'utilisateur final qui crée de la valeur et non plus les technologies ou les traitements qui

⁽¹⁾https://www.sciencesetavenir.fr/sante/homelab-une-maison-laboratoire-pour-les-malvoyants_28775.

le constituant, le concept d'un écosystème d'innovation ouverte a vu le jour. Cette approche Living Labs (LL) permettent aux futurs utilisateurs de pouvoir participer « activement » à la conception d'un produit ou service dès les premières phases de réflexion en apportant leurs besoins, leurs vécus, leurs craintes... En effet, que ce soit pour un industriel ou un organisme de recherche, le recueil des besoins des utilisateurs finaux est souvent une tâche indispensable en particulier dans le domaine de la santé, de l'autonomie et du handicap (voir section 4.1). Pourtant, certains auteurs [66] ont constaté la réelle volonté du citoyen d'être un acteur de l'évolution des technologies de l'information et de la communication dans ces domaines. Les Living Labs sont apparus comme un cadre pour favoriser le travail, le partage et l'échange dans l'innovation : de l'expression de la demande, en passant par la conception, l'étude des usages, le modèle économique et les changements sociaux impactés par l'innovation. La figure 2.1 illustre l'ensemble des acteurs concernés par cette approche ouverte et innovante.

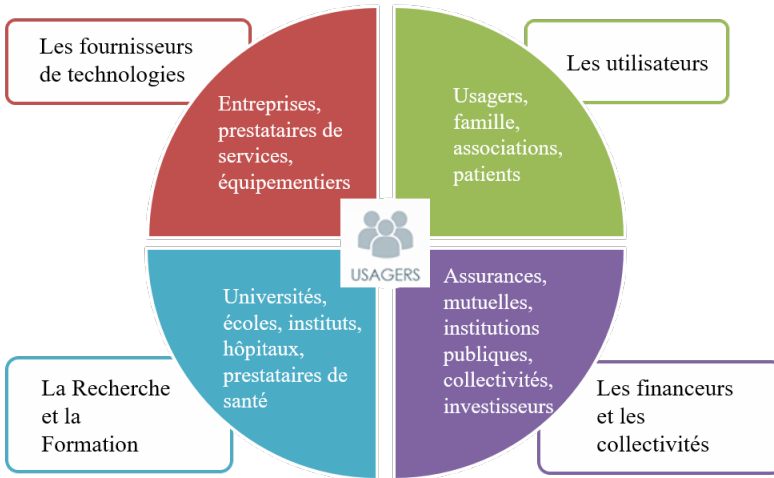


FIGURE 2.1. Les acteurs du Living Lab

Le tableau 2.1 dresse un panorama non exhaustif des principaux Living Labs, adhérents pour la plupart du forum des Living Labs (LLSA (www.forumlisa.org)) et spécifie les objectifs visés par chacun d'eux. Les champs de recherche couverts par ces LL sont larges :

- co-conception et conception participative d'aides techniques matérielles ou logicielles et/ou services (Laboratoire Domus, Activ'Ageing, GERHOME, WeLL, MADoPA, Maison Intelligente de Blagnac (MIB), LUSAGE...);
- évaluation de solutions existantes : partage et échange d'informations dans le Système d'Information de Santé (Connected Health Lab), analyse de l'utilisabilité, usages, acceptabilité (LUSAGE lab, CIC-IT/Evalab, Kyomed...);
- prévention et pédagogie (l'Etape, MADoPA, Cluster i-care...).

Parmi les populations d'utilisateurs auxquelles s'intéressent les LL, on retrouve principalement les personnes âgées notamment sur le suivi de la fragilité au sens des critères de Fried (MaDoPA, Activ'Ageing, LUSAGE, Maison Intelligente de Blagnac, I2ML...), l'assistance cognitive pour des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (Laboratoire Domus, LUSAGE...). D'autres orientent leurs travaux vers les personnes en rééducation suite à une hospitalisation ou nécessitant un suivi post-opératoire (Autonom'Lab), ou plus largement vers les personnes atteintes d'un handicap (physique ou cognitif) ou d'une fragilité sociale (CEREMH, Medialis, ISAR...). Le suivi de ces personnes étant généralement prévu d'être réalisé à leur domicile, ces LL disposent généralement d'un environnement d'expérimentation ressemblant à un habitat. D'autres LL ont davantage axé leur recherche sur l'environnement hospitalier afin de s'intéresser aux patients en cours d'hospitalisation et d'évaluer, améliorer le système d'information et le parcours de soin (Connected Health Lab, par exemple).

Tous les LL n'adressent pas forcément une des thématiques de l'intelligence artificielle mais on retrouve de l'IA (à la fois Intelligence Artificielle et Intelligence Ambiante) chez certaines équipes de recherche : interaction intelligente (DOMUS ([37]), apprentissage et modélisation du comportement et/ou activité (LUSAGE Lab, Fondation I2ML, Maison Intelligente de Blagnac...), représentation des connaissances (création d'ontologie), aide à la prise de décision (projet PICADO d'Activ'Ageing).

Enfin, ils n'utilisent pas tous les mêmes outils ou méthodes pour le recueil des besoins, la co-conception, l'étude des usages, l'évaluation quantitative ou qualitative des observations, ni les mêmes contextes d'observations (environnement contrôlé, versus environnement écologique), etc.

TABLE 2.1: Objectifs et approches de quelques environnements contrôlés et pédagogiques

Nom	Localisation	Objectifs et approches
Laboratoire Domus [67]	Sherbrooke (Canada)	Assistance cognitive, habitat en tant qu'orthèse cognitive, télévigilance, suivi médical
Autonom'Lab [42]	Limoges (France)	E-santé (système d'information temps réel), géolocalisation indoor/outdoor, suivi post-opératoire
ActivAgeing [87]	Troyes (France)	Co-conception autour de la fragilité (physique, sociale et cognitive)
Connected Health Lab [21]	Castres (France)	Interopérabilité des systèmes d'information de santé : partage, échange et traitement intelligent, simulation parcours patient
LUSAGE	Paris (France)	Aide technique pour la stimulation et compensation cognitive.
Centre d'évaluation Medialis	Paris (France)	Codesign créatif, Codesign en environnement technique contrôlé, Handicap.

Nom	Localisation	Objectifs et approches
CEREMH	Velizy (France)	Conception de produits et services innovants pour la mobilité des personnes en situation de handicap
Cluster i-Care [38]	Lyon (France)	Soin innovant : prévention, diagnostic, thérapie et autonomie.
CMRRRF de Kerpape	Ploemeur (France)	Aide à la rééducation, mobilité, validation dans des « appartements tremplins » d'aides techniques
L'Etape	Lattes (France)	Prévention et compensation des difficultés d'autonomie. Appartement pédagogique.
CIC-IT / Evalab	Lille (France)	Analyse des phénomènes d'appropriation des technologies pour la Santé et l'Autonomie et leurs usages et évaluation de leur impact
Experiment'HAAL	Plouzané (France)	Mise au point et accueil de dispositifs d'assistance expérimentaux en vue de tests d'usage. Étude et ergonomie des interfaces utilisées par les personnes dépendantes.
Fondation I2ML	Nîmes (France)	Amélioration de la qualité de vie des personnes âgées. Observation et suivi de l'activité, santé mobile...
ISAR	Rennes (France)	Co-conception centrée sur l'utilisateur dans le handicap et la santé : conduite de fauteuil, détection de chute.
Kyomed	Montpellier (France)	Évaluation usage et acceptabilité en santé connectée. Identification et validation de marqueurs de santé.
Fondation HOPALE	Berck (France)	Innovation ouverte et au co-design de services : usage du numérique dans la prise en charge des patients, serious games pour rééducation, appartements thérapeutiques...
MADoPA	Troyes (France)	Identifier et co-construire des solutions innovantes de maintien de l'autonomie. Repérage et la prévention de la fragilité et vulnérabilité. Évaluation des solutions d'accompagnement des personnes âgées
GerHOME	Nice (France)	Développement de produits et services intégrés au bâtiment pour le maintien à domicile.

Nom	Localisation	Objectifs et approches
GIS Madonah	Bourges (France)	Maintien à domicile de personnes dépendantes ou handicapée sous les axes de la médecine, de la télémédecine, de l'acceptabilité sociale, des technologies et de la domotique
WeLL : Wallonia e-Health ling Lab	Liège (Belgique)	Co-conception pour technologies de ré-éducation, logements adaptés pour maintien du lien social, communication patient-soignant pour des maladies chroniques...
MIB (Maison Intelligente de Blagnac, http://mi.iut-blagnac.fr/?lang=fr)	Toulouse (France)	Habitat Intelligent, Co-conception d'interface de contrôle d'environnement, Méthodes d'observations, Infrastructure d'interopérabilité

Dans le domaine de l'autonomie des personnes âgées et au regard de la littérature sur les Living Labs, l'objectif commun est de concrétiser les avancées dans un contexte réel. Pour ce faire, l'étape préliminaire est de valider dans un lieu physique d'observation, de tests et de validation sous la forme d'un environnement « familial » qui peut être une pièce de la maison, une chambre d'hôpital ou un habitat intelligent tel que nous venons de le définir précédemment. Ces lieux permettent d'étudier les usages des technologies, leur perception, leur ressenti, leur appropriation par les personnes elle-même et surtout de voir comment les services proposés peuvent s'intégrer dans leur écosystème de vie. La participation des personnes à la conception de solutions adaptées à leur besoin et mode de vie est une nécessité pour réussir l'adoption et l'utilisation des solutions technologiques, ils sont donc partie prenante des projets de recherche en tant qu'utilisateur volontaire ou partenaire par le biais de leurs associations.

Dans la suite de l'article, nous prendrons comme exemple celui de la Maison Intelligente de Blagnac (MIB) qui sert de support à la mise en œuvre de protocoles d'expérimentations et d'évaluation pour l'observation des usages des technologies numériques. L'objectif est d'inclure des personnes volontaires fragiles et désireuses de participer à des scénarios de mise en situation. Pour ce faire, nous allons décrire l'infrastructure mise en place pour conduire de telles expérimentations.

3. PRÉSENTATION DE LA MAISON INTELLIGENTE DE BLAGNAC ET OBJECTIFS

La Maison Intelligente de Blagnac a été conçue dans le but de proposer aux chercheurs une plateforme d'étude, de test et d'observation pour la conception de solutions connectées intelligentes. La population cible est celle des personnes âgées, fragilisées ou en situation de handicap avec l'objectif in fine de contribuer à avancer sur les questions du maintien à domicile en associant les technologies du numérique mais

également les compétences nécessaires en sciences humaines et sociales. Les études menées associent des compétences pluridisciplinaires issues des sciences des technologies de l'information et de la communication, des sciences humaines et sociales et médicales.

L'introduction de solutions nouvelles pour permettre de renforcer ou de maintenir les personnes le plus longtemps possible dans leur lieu de vie (domicile, habitat alternatif, habitat inclusif, etc. [75]) ne peut passer que par la forte implication des collectivités publiques, des acteurs économiques et des acteurs de l'habitat alternatif [70]. Un rapport ministériel faisait déjà état il y a plus de dix ans [73] des possibilités offertes par les technologies pour améliorer le mieux vivre des personnes à leur domicile mais également les pratiques gérontologiques. C'est dans cet esprit que la Maison Intelligente de Blagnac a été créée en 2010 sous l'impulsion de la ville de Blagnac et d'acteurs industriels du secteur du service à la personne et de l'habitat [17]. Elle innovait dans la proposition de considérer dès l'origine le triptyque formation-recherche-entreprises. Elle dispose toujours aujourd'hui des atouts offerts par la région Occitanie en termes de laboratoires de recherche impliqués (LAAS, IRIT, LERASS et le CLLE entre autres), de formations académiques (IUT Blagnac, ISIS Castres, Masters UT2J...), de collaborations avec le CHU-T et de partenariats industriels locaux ou médico-sociaux. Pour répondre à la nouvelle loi Jardé relative aux Recherches Impliquant la Personne Humaine (RIPH) qui précise que ces recherches « ne peuvent être réalisées que dans un lieu disposant des moyens humains, matériels et techniques adaptés à la recherche et compatibles avec les impératifs de sécurité des personnes qui s'y prêtent » (art. L.1121-13 du Code de la santé publique), la Maison Intelligente a demandé une autorisation à l'ARS (Agence Régionale de Santé) qu'elle a obtenue en septembre 2017. Cet agrément permet aujourd'hui de mener des recherches avec des personnes volontaires en toute sécurité.

La Maison Intelligente de Blagnac offre une capacité d'analyse et une expertise dans les domaines suivants :

- méthodes et outils (dispositifs de mesures – capteurs de mouvements, suivi du regard...) – analyses quantitatives et qualitatives (entretien, questionnaires, cahiers d'observations, etc.) pour des protocoles d'expérimentation d'observation pour évaluer les dispositifs, les systèmes et les services dans le domaine du maintien à domicile mais également les comportements des sujets volontaires au regard de ces équipements ;
- infrastructure technologique pour des réalisations de scénarios d'usages sur les aspects capteurs, réseaux de télécommunications, logiciels, systèmes d'information, interaction homme-système (*cf.* section 4) ;
- veille technologique des solutions et services possibles,
- plateau de formation à visée pédagogique, en permettant aux étudiant(e)s du DUT Carrières Sociale de l'IUT de Blagnac, par exemple, de découvrir les technologies de l'habitat connecté, la domotique, les technologies d'assistance, etc.
- mise en synergie avec les acteurs économiques.

Le positionnement de la Maison Intelligente est innovant pour les études d'usage dans le champ du vieillissement et de l'autonomie. L'approche de conception vise à aller progressivement d'une validation en Living Lab (LL) vers un déploiement en True Life Lab (TLL : observation en environnement naturel). Elle intègre les participants volontaires et recueille leur ressenti pre et post-expérimentations (comme cela a été fait dans les projets SOPRANO (Service-Oriented Programmable Smart Environments for Older Europeans, [20]) l'appartement Domus [35], ou encore le domicile de la personne âgée pour l'étude en True Life Lab [82]. Cette approche contribue à apporter des connaissances sur les réels besoins des personnes en perte d'autonomie dans un environnement écologique, afin de compléter les informations recueillies dans un environnement contrôlé.

Cette maison (cf. figure 3.1) prend la forme d'un appartement de 80 m² totalement équipé et connecté permettant ainsi de mettre en situation quasi-réelle les sujets volontaires. Le lieu est connecté par un réseau global de communication principal basé sur un bus logiciel MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) répondant à une API (Application Programme Interface) ouverte [8] en interaction avec divers systèmes de communication physiques (KNX, WiFi, Ethernet, ZigBee, Internet...) permettant d'étendre la connectivité des équipements physiques (capteurs, effecteurs, interfaces homme-machine) et agents logiciels (algorithmes d'analyse et de traitement de l'activité, scénarios d'automatisation, etc.). Les équipements sont nombreux, on trouve une représentation assez complète de ce qui est proposé aujourd'hui en termes de solutions technologiques pour répondre à la sécurité domestique, au confort, à la communication et à l'assistance pour la santé : des capteurs pour la mesure de paramètres ambiants ou pour la sécurité domestique ; des dispositifs d'assistance (piluliers, éclairage automatique, systèmes de guidage, d'ouverture automatisée...); des dispositifs médicaux ; des dispositifs de suivi intérieurs (chute, malaise, perte de verticalité) ou extérieurs (géolocalisation) , des mobiliers motorisés (adaptables en hauteur); des aides techniques pour les personnes en situation de handicap ; des interfaces de contrôle-commande de différentes fonctions (téléviseur, contrôle de l'éclairage, chauffage...).

Cette installation « intelligemment connectée » permet la conception et l'évaluation de systèmes socio-techniques innovants [5, 9, 14] permettant un confort de vie amélioré dans les gestes quotidiens qui peuvent ainsi être gérés selon des séquences pré-établies ou en interaction fine avec l'habitant, selon son besoin et son degré d'autonomie. Comme dans toute installation domotique classique, une action effectuée sur un bouton d'une télécommande ou un interrupteur peut enclencher un groupe d'actions comme l'ouverture de portes, l'éclairage de la salle de bain et l'ouverture des volets. Par exemple, à la MIB, un appui sur un bouton « départ du domicile » peut déclencher à la fois la mise en mode économique du chauffage, la fermeture des ouvertures et à l'extinction de toutes les lumières. Cependant, à partir des besoins et du degré d'autonomie de l'habitant, cet ensemble d'actions peut aussi être effectué sans nécessité d'appui sur le bouton, par exemple par une commande vocale si l'habitant ne peut avoir accès au bouton, ou bien encore automatiquement dès la sortie de son habitat si la personne présente un risque élevé d'oubli causé par un trouble de la mémoire par exemple. De plus, une gestion intelligente permet d'exécuter les commandes liées à des



FIGURE 3.1. La Maison Intelligente de Blagnac : un habitat connecté

scénarios prédéterminés par un prestataire de services, un aidant ou par l'utilisateur lui-même, et sont modifiables. En outre, les équipements (appareils, interrupteurs...) deviennent « interconnectés » et peuvent tout aussi facilement changer de fonction.

Une des difficultés majeures est la reconnaissance des activités de la vie quotidienne réalisées par l'individu à l'intérieur de son habitat, qui sont déterminées par les actions effectuées par celui-ci. Cette problématique constitue une thématique clé du domaine de l'assistance car le soutien technologique pour renforcer l'autonomie à domicile ne peut se faire que si le système arrive à interpréter correctement le comportement de l'habitant et à détecter ses erreurs [71]. On comprend donc qu'une infrastructure technique parfaitement pensée et conçue est nécessaire pour un recueil fiable des données mais également pour une réactivité adaptée du système à l'utilisateur. La Maison Intelligente de Blagnac dispose d'un ensemble de fonctionnalités suffisamment ouvertes en terme de protocoles de communication et suffisamment large à ce jour pour permettre de mettre en place des scénarios de vie élaborés et observer les comportements. Car au-delà des nombreux verrous technologiques, c'est également une question d'usage qui est posée [48], comme nous allons aussi le voir dans les sections suivantes.

Matériellement, l'architecture réseau de la plateforme est construite autour de différents éléments matériels et logiciels (cf. figure 3.2) :

- **pour l'infrastructure domotique et capteurs**, la plateforme est composée d'un réseau domotique KNX et de différents réseaux sans fil tels que ZigBee, WiNo [7], infrarouge [4], propriétaire. Chaque technologie bus/réseau dispose d'une passerelle propre permettant une terminaison sur IP en vue de rendre interopérable ladite technologie sur la plateforme. L'ensemble est fédéré par un middleware HTTP propriétaire « MiCom » publié [80] et un bus MQTT évoqué plus haut, dont la structuration en topics a été publiée sous forme d'un modèle [8] qui en assure son extensibilité, où chaque nouvelle technologie peut être connectée sur le bus. Un agent d'enregistrement est également connecté au bus et stocke en base InfluxDB l'ensemble des interactions avec les réseaux de la plateforme, ce permet la constitution d'enregistrements pour chaque expérience; les objets connectés sont intégrés dans la plateforme d'interopérabilité OPENHAB [62]. Cette plateforme permet de connecter divers objets avec des protocoles de communication différents (MQTT, http, etc.). De plus, cette plateforme permet de réaliser des interfaces humain-machine.
- **pour l'infrastructure d'observation**, la plateforme est dotée d'un réseau Ethernet dédié aux trafics multimédias RTSP (Real Time Streaming Protocol) produits par les caméras IP permettant l'observation en direct. Un réseau analogique de microphones et de haut-parleurs connecté à un enregistreur multipiste vient compléter l'infrastructure, permettant l'enregistrement complet des expériences et la création de corpus vocaux.

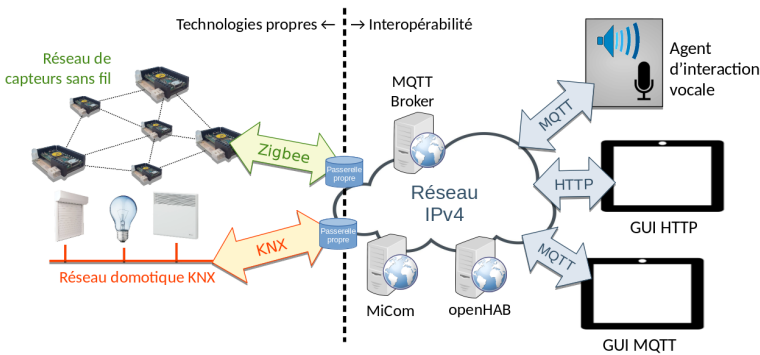


FIGURE 3.2. Infrastructure réseau favorisant l'interopérabilité des technologies

Du point de vue des accès numériques, le middleware « MiCom » et le bus MQTT peuvent être considérés comme une API permettant de prendre numériquement le contrôle de la maison, aussi bien en entrée (accès aux capteurs) qu'en sortie (accès aux effecteurs). L'accès au bus MQTT, notamment, est extrêmement simple et facilite grandement le développement d'agents d'Intelligence Artificielle, d'automatisation ou d'interaction, dans différents formalismes ou langages de programmation. Par exemple, un flot de traitement NodeRed, exécuté sur un serveur NodeRED de la MIB, (figure 3.3) permet de construire visuellement un système d'analyse de données ou un contrôleur

de dialogue via une interface graphique dans un navigateur web. Dans une approche de prototypage rapide, le temps de développement est minimisé et l'équipe peut ainsi se focaliser sur les problématiques d'usage.

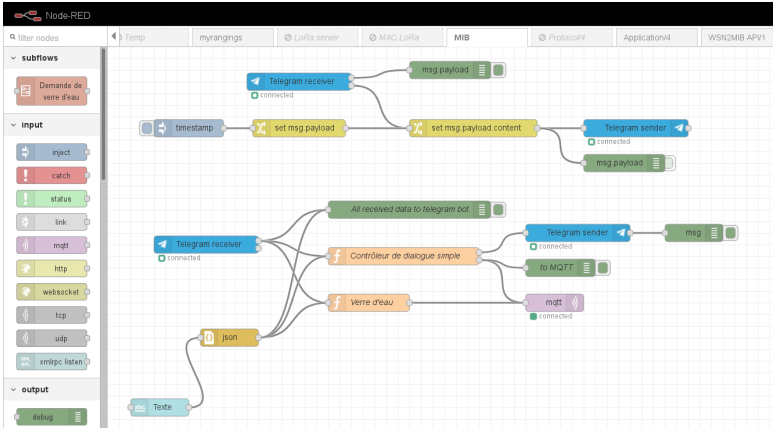


FIGURE 3.3. Utilisation de NodeRED pour le développement rapide de briques logicielles d'automatisation ou d'interaction

4. DESCRIPTION DES OUTILS MÉTHODOLOGIQUES ET TECHNOLOGIQUES DÉVELOPPÉS

L'observation des utilisations des systèmes d'assistance à l'autonomie pour en comprendre leurs limites et leur acceptabilité par les utilisateurs est une étape importante pour les itérations de la conception centrée utilisateur [64], la question de l'appropriation [72] ou encore la personnalisation de la technologie [76]. Au sein de la MIB, s'est constituée une équipe pluridisciplinaire qui s'est donnée comme objectif d'interconnecter fortement les dimensions technologiques et les questionnements en sciences humaines et sociales.

L'une des préoccupations de cette équipe est de proposer un environnement technologique d'observation flexible et adapté et de questionner les méthodes de conception, d'observations et d'évaluation. Dans cette section, seront tout d'abord présentées les méthodologies de conception utilisées dans l'équipe interdisciplinaire, puis les méthodologies d'observation et enfin les briques technologiques permettant de remonter les informations de l'environnement ambiant (capteurs, réseaux filaires et sans fil) dans un système de contrôle.

4.1. MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION

La MIB offre une infrastructure qui permet d'interconnecter les objets connectés et les technologies de santé et d'assistance pour l'autonomie (voir section 4.3). Depuis 2013, les équipes projets qui conçoivent des technologies et des services pour l'autonomie et la santé ont adapté la conception centrée utilisateur (CCU) [64] et la norme

ISO 9241-210t [41]. Ces outils sont communément utilisés dans les Living Labs pour la conception et l'évaluation de dispositifs ou plus généralement de systèmes à base de TIC. La norme ISO 9241-201t définit les phases de mise en œuvre de cette démarche (figure 4.1). Celle-ci repose sur l'idée que les utilisateurs finaux sont les mieux placés pour exprimer leurs besoins, participer à la conception, évaluer et utiliser le système interactif, jusqu'à satisfaction des besoins et des exigences exprimés par les utilisateurs.

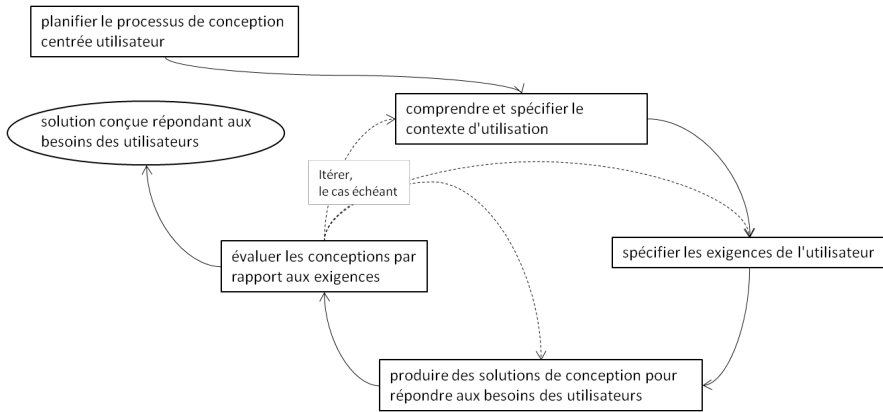


FIGURE 4.1. Cadre théorique de la Conception Centrée Utilisateur (extrait et traduit de ISO 9241-210t)

Cependant les méthodes utilisées pour la conception de systèmes numériques pour les personnes âgées peuvent s'avérer inadaptées pour leur participation au processus de conception lorsque celles-ci ont des troubles sensoriels ou cognitifs ou encore en fracture numérique. [49] ont démontré non seulement la pertinence de la conception participative avec les personnes âgées mais également l'importance de l'engagement des concepteurs à s'engager avec eux dans le processus de conception. Plusieurs travaux de recherche ont également montré que la participation des aidants (familiaux et/ou le médico-sociaux, etc.) proches des utilisateurs était bénéfique pour concevoir des prototypes. [12] ont décrit les divers rôles des aidants dans les différentes formes de participation (activité conjointe des aidants et des personnes avec troubles dans la phase d'expression et d'évaluation). De même, [36] proposent de modéliser le rôle de l'écosystème de la personne en situation de handicap selon les phases du modèle ISO pour les personnes ayant des troubles de la communication. Les chercheurs impliqués dans des projets de la MIB ont mis en œuvre partiellement les diverses phases du modèle ISO.

4.2. MÉTHODOLOGIE D'OBSERVATIONS

L'équipe pluridisciplinaire, qui s'est constituée autour de la MIB, vise à développer des méthodes d'observations des utilisations des technologies en environnement de laboratoire écologique. Cette équipe s'est efforcée d'élaborer une méthodologie croisant des approches qualitatives et quantitatives d'observation des utilisations des

technologies domotiques ou de la communication. Elle s'applique à la mettre en œuvre sur des scénarios définis qui représentent des situations d'usage plausibles de la vie courante selon les objectifs scientifiques des projets conduits (un exemple de projet est décrit à la section 5) :

- Étude du profil socio-culturel et parfois étude ethnographique ;
- Observation des comportements, attitudes et interactions face à un outil numérique ;
- Étude de l'utilité, de l'utilisabilité, de l'accessibilité et de l'acceptabilité aux technologies de communications numériques ;
- Analyse de l'activité, des attitudes comportementales en fonction des profils ;
- Modélisation de l'activité des habitants au sein de leur habitat, des attitudes posturales, du comportement moteur ;
- Inter croisement des informations : questionnaires, entretiens et données d'acquisition capteurs ;
- Étude de la prise en main et de l'utilisation de solutions connectées innovantes pour le domaine de la e-santé.

Selon les disciplines impliquées dans les divers projets conduits au sein de la MIB et les finalités scientifiques de ces derniers, les méthodes d'évaluation qualitatives [10, 56], etc., ou quantitatives pour mesurer l'utilisabilité à partir des recommandations de [74], sont préférées. Les lecteurs pourront se référer à la liste proposée par ([68] des principales méthodes susceptibles d'être utilisées pour comprendre, mesurer et évaluer le comportement d'une personne en situation d'interaction.

Le choix des méthodes dépend essentiellement des objectifs visés par l'évaluation et des acteurs de l'évaluation. Dans le champ de l'évaluation des aides de compensation et des gérontechnologies, les deux classes de méthodes sont largement utilisées et des initiatives de proposition d'évaluation mixtes sont de plus en plus mises en œuvre.

Les outils méthodologiques d'observation de la MIB sont définis pour comprendre le comportement de la personne en situation d'usage et tiennent compte de la norme ISO 9241-210 (utilité, utilisabilité, degré de satisfaction). Ils se composent de recueil de données qualitatives (observations vidéo et audio, d'entretiens semi-directifs pré- et post-expérimental suivant les objectifs du projet) et de recueil de données quantitatives (questionnaires d'acceptabilité des technologies adaptés de [31] lui-même inspiré de la norme AttrakDiff [47], de variantes de questionnaires sur les profils socio-culturel, technologique et de santé, de systèmes d'analyse des mouvements oculaires pour le suivi attentionnel [19], de log d'activités des utilisations des technologies [81] et des données issues des capteurs ambiants [8] grâce à l'architecture MQTT de récupération des données.

Les chercheurs de la MIB utilisent des méthodes mixtes de collecte et d'analyse qui combinent méthodes qualitatives et quantitatives comme suggérées par [45] et qui sont très plébiscitées dans le champ des TIC pour l'autonomie. Toutes ces méthodes sont élaborées par des chercheurs issus de disciplines complémentaires relevant des sciences techniques, sciences humaines et médicales dans certains cas lors notamment de projets

évaluant des solutions de suivi de santé à domicile. Ces méthodes d'observation peuvent être la demande d'acteurs médico-sociaux comme dans le projet SENUM [9], ou être l'objectif scientifique d'une étude de recherche comme celle du projet national MAN [19, 84]. La mise en œuvre de ces méthodes fait l'objet de demande à un comité éthique et au correspondant Informatique et Libertés (CIL) local chargé de veiller, avant l'entrée en application du règlement général sur la protection des données (RGPD) le 25 mai 2018, au respect de la loi Informatique et Libertés protégeant les participants.

Comme évoqué dans la section 3, la Maison Intelligente permet la mise en place de cette méthodologie de par son infrastructure flexible et adaptable aux besoins scientifiques, utile à la conception des systèmes numériques pour l'autonomie.

4.3. ARCHITECTURE DE COLLECTE DES DONNÉES

De nombreux capteurs sont communément utilisés dans le cadre des habitats intelligents. On peut les classer en deux catégories : ceux qui sont répartis dans l'environnement de l'habitat, et ceux qui peuvent être portés sur la personne. Les premiers sont des capteurs ambiants qui collectent des données permettant à un système de gestion de pouvoir piloter l'habitat (température, humidité, état des accès, du chauffage, de l'éclairage, des occultants...). Ces capteurs sont souvent associés à des actionneurs permettant de répondre aux sollicitations de l'utilisateur (ouverture/fermeture, augmentation/diminution du chauffage, allumage/extinction de l'éclairage...). Ces capteurs peuvent permettre également de suivre l'activité des occupants par des capteurs répartis dans plusieurs pièces (détecteurs de mouvements infrarouge) pouvant identifier les mouvements de la personne [15]. Tous ces dispositifs offrent des données d'entrée à des algorithmes d'apprentissage automatisés pour modéliser les habitudes de vie de l'habitant et ses préférences en termes de confort ou de sécurité comme nous l'avons vu dans la section 3, mais aussi pour étudier la réaction de l'habitat à ces sollicitations [16, 22].

La deuxième catégorie de capteurs est celle permettant de recueillir à même le corps de la personne des données plus précises et spécifiques. Il peut s'agir de données physiologiques issues de capteurs pour la mesure du pouls, du rythme respiratoire, cardiaque, électrocardiogramme, du poids, du niveau de stress...), mais également des données actimétriques (vitesse de marche, distance parcourue, nombre de pas...) [25]. Le couplage de toutes ces données offre un véritable profil de vie habitant-habitat qui permet de proposer des solutions adaptées au besoin d'autonomie de la personne [18]. On voit bien que ceci ne peut s'effectuer que si ces capteurs disposent d'un moyen d'échange commun pour partager leurs données en temps réel [88]. Les habitats intelligents et connectés constituent généralement des ensembles technologiques fortement hétérogènes, il est donc quasiment impossible de prévoir une technologie unique lors d'un déploiement. Comme nous le détaillerons dans la section 6.1 consacré à l'interopérabilité, la forte diversité des technologies de communication actuelles standardisées ou propriétaires, augmente substantiellement la complexité de la mise en réseau des capteurs, actionneurs, automates et dispositifs d'interaction déployés dans un environnement domotisé. De plus, l'une des caractéristiques recherchées dans l'AAL

(Ambient Assisted Living) est la reconfigurabilité, ce qui impacte les caractéristiques des technologies retenues.

Dans le contexte des habitats intelligents et connectés, les bus logiciels constituent un moyen simple et efficace pour transférer ces données, quelles que soient les technologies et leurs degrés d'hétérogénéité pour un déploiement donné. De par leur nature ouverte, les bus logiciels facilitent ce partage d'information et permettent des échanges en temps réel. La virtualisation du bus permet également de traiter à l'identique des communications entre des processus locaux (sur une même machine hôte) que répartis (sur plusieurs machines disjointes et éventuellement distantes). Ces échanges d'informations se font par notification et non par interrogation cyclique de chaque agent, ce qui permet d'être très réactif tout en économisant la bande passante du réseau.

De nombreux protocoles (tels que CoAP « Constrained Application Protocol » et HTTP « HyperText Transfer Protocol ») et des bus logiciels (tels que MQTT « MQ Telemetry Transport » et AMQP « Advanced Message Queuing Protocol ») répondant à ces besoins sont aujourd'hui disponibles. De par ses caractéristiques, sa versatilité et sa faible empreinte protocolaire, MQTT (MQTT Specification) est un choix intéressant pour répondre à la problématique de l'hétérogénéité dans les habitats intelligents [55]. Basé sur un protocole de transport de messages client/serveur (agents/broker) systématiquement associés à un sujet (topic), tout agent connecté sur le bus MQTT peut choisir de s'abonner à un ou plusieurs sujets et recevoir tous les messages émis par d'autres agents. Le filtrage par sujet est assuré par le broker et soulage les agents de ce traitement exécuté en amont, ce qui permet d'économiser de la bande passante réseau et de la mémoire, notamment sur les objets connectés. Un jeu de jokers (wildcards) permet de s'abonner à plusieurs topics sous une unique souscription, permettant d'entrevoir des stratégies de groupes élaborées et une pré-organisation des données en temps réel, dès leur transport sur le réseau, avant même d'atteindre une base de données. Des options de sécurité (chiffrement des échanges, accès en lecture et/ou en écriture en fonction du sujet) sont également activables, en fonction de la sensibilité des données transportées et de l'application.

Pour permettre un accès numérique fiable, efficace et sécurisé aux capteurs, actionneurs et objets connectés de l'environnement numérique ambiant de la MIB, il a été nécessaire de mettre en place une API. Celle-ci permet aux objets connectés, dispositifs d'interaction et algorithmes de traitement d'accéder facilement et de manière sécurisée à l'environnement numérique. Une telle API a été spécifiée et déployée à la MIB [8]; elle permet la connexion de l'ensemble des technologies hétérogènes présentes sur la plateforme et donne un accès universel à l'utilisateur, l'aidant, le prestataire de service ou le développeur d'une application. Par exemple, considérant les capteurs de mouvement et les capteurs environnementaux, il est possible de fusionner les informations pour permettre aux systèmes décisionnaires de disposer d'une connaissance précise de la situation de l'habitant en interaction avec son habitat tel qu'évoqué précédemment [16]. Grâce aux bus logiciels et en particulier, grâce à MQTT, ce traitement peut être effectué en temps réel, permettant à l'habitat de prendre les meilleures décisions dans les interactions proposées à l'habitant.

5. MISE EN APPLICATION : LE PROJET SENUM

Comme illustration de projets conduits au sein de la MIB, une étude expérimentale dans le cadre d'une convention de recherche avec AG2R La Mondiale sur les besoins d'habitants en termes de domotique et de technologies a été conduite par une équipe transdisciplinaire depuis 2016 [83]. Les domaines de compétence de cette équipe sont les méthodes qualitatives pour les sciences humaines et sociales (SHS), l'ingénierie des capteurs et les technologies des réseaux, l'interaction homme machine pour les sciences des technologies de l'information et de la communication (TIC). L'objectif du consortium était de mettre en œuvre des méthodes mixtes d'observation (qualitative et quantitative) pour identifier les représentations des participants sur les besoins en technologies, les usages et les freins d'usage des technologies, l'acceptabilité, et la possibilité de croisement des contextes d'utilisation (observation) et des usages (log) des technologies de la communication et de la domotique au sein de la MIB.

5.1. L'ENVIRONNEMENT EXPÉRIMENTAL

L'expérience se déroule en cinq temps (figure 5.1) : la présentation de l'expérience aux participants (finalité, présentation de l'équipe, précision du retrait possible à tout moment de l'expérience), la passation d'un questionnaire (profils socio-culturels et de santé, usages et craintes des technologies de l'information de la communication, intentions en termes d'équipement de l'habitat et du lieu de vie, anticipation sur les usages des technologies) sur tablette tactile ; la découverte et l'essai de découverte de la MIB à partir d'un scénario (le lever), filmé et observé par des chercheurs en SHS, un entretien compréhensif (ressenti, exploration autour des usages, comportements et discours observés) ; un post questionnaire (quantification des éléments qualitatifs – préférence des modes d'interaction (interface tactile décrite ci-après, interaction vocale par magicien d'oz et interrupteurs fixes avec des pictogrammes), anticipation, changement de regard – recueillis lors de l'entretien).

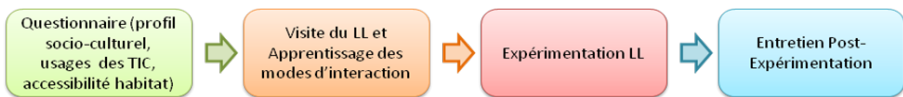


FIGURE 5.1. Étapes de l'approche déployée au sein de la MIB

C'est l'architecture illustrée dans la figure 3.2 qui a été utilisée. L'application InTacS (Interface Tactile pour les Séniors) et la plateforme magicien d'Oz d'interaction vocale ont été développées pour piloter la domotique et le média télévision de la MIB. Afin de faciliter l'utilisabilité et l'accessibilité des interfaces tactiles des personnes âgées, la conception d'InTacS a pris en compte les recommandations de conception suggérées par [44, 50], à savoir la taille des boutons, l'espacement entre les boutons et la couleur d'arrière-plan pour maximiser le contraste (cf. figure 5.2, image de gauche).

La structure de l'interface InTacS est simple comme suggéré par [29] : pas de hiérarchisation dans les menus et développement d'un sous-menu à droite avec un rappel

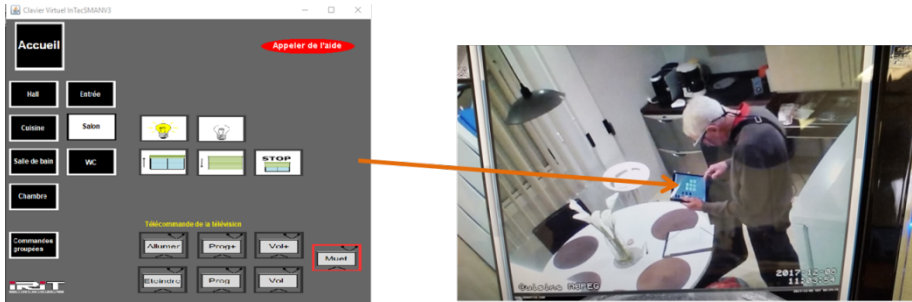


FIGURE 5.2. Interface tactile de contrôle en situation d'utilisation

visuel de la pièce. Cette conception a fait l'objet de la mise en œuvre partielle de la norme ISO 9241-210:2010 de conception, à savoir, deux séances de brainstorming (une première avec les chercheurs de spécialité technologie; une seconde avec une personne non voyante et deux chercheurs de spécialité ergonomie et psychologie cognitive) et d'une série de pré-tests par 20 personnes âgées pour valider la représentation des icônes de commande et l'accessibilité d'InTacS au sein de la MIB.

Quant à la plateforme Magicien d'Oz, elle a été mise en œuvre pour simuler les dialogues oraux entre l'habitant et la maison domotisée. Son rôle est, d'une part de recevoir et d'interpréter les commandes vocales de l'habitant et celles des capteurs et actionneurs quelle que soit la technologie de communication disponible dans la maison et, d'autre part, de générer et de restituer des messages sonores à l'habitant et de transmettre des commandes aux actionneurs [9].

5.2. DONNÉES EXPÉRIMENTALES ET ANALYSE

Toutes les données de l'expérience sont recueillies et anonymisées. L'architecture de collecte de données capteurs et actionneurs est celle décrite à la section 4.3. Celles-ci sont complétées par les logs d'utilisation d'InTacS, les dialogues de la plateforme magicien d'Oz, l'entretien et les observations vidéo. Les observations vidéo de type ethnographique sont effectuées pendant l'expérimentation via un écran, en écran partagé, installé dans la salle d'observation adossée à l'appartement, restituant les activités du participant dans la cuisine, (figure 5.2, image de droite), le salon, le hall et la chambre.

La durée totale de l'expérimentation est d'environ 1 h 30 pour chaque participant (30 à 45 minutes pour la passation du questionnaire; 10 à 15 minutes pour la présentation des technologies domotiques de la Maison Intelligente de Blagnac; 10 à 15 minutes de la présentation des modalités d'interaction tactile, vocale et avec des interrupteurs avec mise en pratique; il est à noter que tous les participants maîtrisaient ces deux modes d'interaction en 10 min environ pour le scénario de lever, puis entretien). 147 personnes âgées retraitées de plus de 60 ans (aucun autre critère d'exclusion) recrutées par AG2R La Mondiale ont participé à cette étude.

Il nous a paru pertinent de rapporter, à titre d'illustration, l'apport des méthodes d'observation déployées au sein de la MIB, sur le positionnement des participants face aux technologies domotiques et technologiques présentées lors de l'expérimentation ainsi que leurs préférences sur les modalités d'interaction. Les résultats rapportés ci-après concernent 51 participants sur 147 [83]. Par exemple, à la question « Après cette expérimentation, est-ce que votre regard sur les technologies a changé ? » avec trois modalités de réponse (Oui en positif ; Oui en négatif ; Non), 91 % des personnes âgées observées ont changé leur opinion sur les nouvelles technologies (environ 88 % de manière positive contre 3 % de manière négative ; 9 % n'ont pas changé d'opinion après le scénario). Concernant les préférences des techniques d'interaction, les participants ont apprécié l'interaction vocale (68,63 % en premier choix contre 17,65 % pour l'interaction tactile). L'interaction tactile apparaît toutefois en deuxième choix dans 58,82 % des cas et le mode Interrupteur fixe en troisième choix dans 56,86 %. Les entretiens [10] confirment que les participants apprécient l'interaction vocale : « c'est naturel de parler à la maison » ; « c'est agréable, on discute ! ». Les entretiens confirment que l'interaction vocale est plébiscitée par les participants parce qu'elle permet l'expression dialogique et apporte un supplément d'âme à un environnement fortement technologique. Les participants ont également souligné « l'humanité de la voix » de la maison intelligente. Ils pensent que, avec un tel outil, « on peut se sentir moins seul ».

Ces résultats sont intéressants pour les types de mode d'interaction à proposer à l'utilisateur au sein de son habitat en le laissant libre de ses modes d'interaction et ce, en fonction de son environnement. Ces résultats partiels restent cependant à confirmer sur l'ensemble des participants.

Cette illustration d'utilisation de la MIB pour étudier le comportement, les préférences des techniques d'interaction démontre l'importance de disposer de LL pour étudier les comportements, les ressentis des usagers, l'étude des usages des technologies et leur acceptabilité en environnement écologique. Une extension de cette démarche d'observation au sein de la MIB a fait l'objet d'une recherche sur les méthodes d'observations multidimensionnelles dans le cadre d'un projet d'accessibilité au numérique pour les personnes âgées [19, 85] et les personnes en situation pour les habitats inclusifs [86].

6. CHALLENGES ET PERSPECTIVES SUR L'ÉVOLUTION DU CONCEPT DE MAISON INTELLIGENTE

6.1. HÉTÉROGÉNÉITÉ DES SYSTÈMES ET SOURCES DE DONNÉES

Les projets mis en œuvre sur la plateforme MIB, tels que ceux présentés dans le chapitre précédent, ont largement soulevé la problématique de l'hétérogénéité des systèmes et des sources de données. Les nombreux capteurs déployés dans l'environnement ne sont généralement pas compatibles entre eux et donc non interopérables, et ce, à différents niveaux. Cette hétérogénéité augmente considérablement l'interprétation

des données captées, que cette interprétation soit réalisée au fil de l'eau « en temps réel », ou a posteriori.

Au niveau le plus bas, les technologies de transport de l'information (réseaux et protocoles) ne sont pas nécessairement compatibles entre elles. Si le Protocole Internet (IP) est largement répandu, nombre de réseaux de capteurs et technologies domotiques n'utilisent pas ce protocole universel ; les causes sont variées et souvent justifiées d'un point de vue scientifique et technique, par exemple pour des questions d'énergie ou de ressources réseaux limitées. La présence d'équipements de type « passerelles » est alors incontournable, avec le déploiement de protocoles de communication fédérateurs tel que celui basé sur MQTT présenté plus haut.

À un niveau situé comme intermédiaire, l'hétérogénéité des technologies de transport de l'information est gommée par des Middlewares et des API reposant sur les protocoles fédérateurs. Une future piste va être l'utilisation du protocole MATTER, qui a été officialisé en Octobre 2022. Cependant, si toutes les données convergent vers un point de récolte et de disponibilité unique, il convient de veiller précautionneusement, à ce niveau, à la consistance des jeux de données produits. Par exemple, dans un scénario de déploiement de capteurs hétérogènes pour l'habitat intelligent, il faut assurer une synchronisation suffisamment précise, c'est-à-dire une datation homogène des données produites par des capteurs et systèmes a priori non synchronisés. Des méthodes de resynchronisation post-facto peuvent par exemple être mises en œuvre pour rattraper des décalages dus à l'hétérogénéité des systèmes. Cette opération peut être par exemple réalisée par les passerelles, mais n'est pas triviale, surtout dans une utilisation « temps réel » des données, par exemple dans le cadre d'une adaptation instantanée de l'environnement ou l'automatisation de scénarios dans la Maison Intelligente.

Au niveau le plus haut, les données doivent être homogènes dans leur signification pour pouvoir être exploitées par des algorithmes d'analyse ou des IA. Les informations doivent être suffisamment enrichies par des métadonnées telles que des unités, des positions dans l'espace ou bien encore des indicateurs de confiance communs ou au moins homogènes. Par exemple, dans l'habitat intelligent, de nombreuses données sur l'environnement ambiant (capteurs de mouvement, de luminosité, de température) sont disponibles. Si elles ont été produites par des systèmes hétérogènes, transportées et resynchronisées, il faut également qu'elles soient riches et homogènes pour être considérées : explicité de l'unité de grandeur physique captée (lux/lumen, °C/°F, etc.), dilution de précision de l'information captée (erreur auto-estimée par le capteur, confiance dans l'information produite), ou bien encore la position du capteur ayant produit l'information en fonction du repère utilisé (mètres relatifs, latitude/longitude), etc.

Cet ensemble de contraintes complexifie grandement les processus d'acquisition et d'analyse des données dans le contexte de l'habitat intelligent. Si les problématiques sont individuellement résolues, l'ensemble ne l'est pas encore totalement, ce qui ouvre de nombreuses perspectives de recherche pour parvenir à des solutions génériques pleinement opérationnelles.

6.2. ADAPTATION AU CONTEXTE D'INTERACTION

Les sources de données évoquées ci-dessus seront exploitées par des algorithmes d'analyse et de décision pour adapter le système au contexte et à l'utilisateur. Cette question de l'adaptation demeure un challenge scientifique. Par exemple, l'adaptation de la dose d'insuline pour le patient diabétique en fonction de son activité, le coaching nutritionnel ou de l'activité physique adapté aux besoins variables d'une personne fragile ou encore l'adaptation aux profils sensoriels, moteurs et cognitifs des systèmes d'accès à l'information et d'interaction sont à considérer dans la conception des applications de service ou de bien-être au sein des Maisons Intelligentes.

L'adaptation de l'interaction humain-machine est un challenge scientifique, tant d'un point des études sur l'humain que des processus d'adaptation. La littérature distingue trois catégories selon qui est impliqué dans le processus complexe de l'adaptation : le système, l'utilisateur final, ou les deux. La plupart des travaux actuels sur l'adaptation concernent essentiellement des modifications des fonctionnalités ou de la présentation de l'information réalisées par l'usager. Les systèmes adaptatifs restent limités en raison des contextes complexes et changeants [32]. Il y a eu place aux taxonomies sur les types d'adaptation [11, 26], mais également sur l'identification de déclencheurs d'adaptation et de méthodes pour décider quand et comment changer les comportements ou les propriétés du système interactif [54]. Actuellement, ces déclencheurs pourraient être définis par les outils d'apprentissage et de décision de l'IA qui seraient mis en œuvre sur les données contextuelles et d'usage recueillies lors des observations conduites en LL ou en TLL. Une équipe pluridisciplinaire (psychologie cognitive, interaction homme-machine, Internet des Objets et étude de l'actimétrie) de la MIB s'est constituée dans le cadre du projet AIDEA (Adaptation intelligente de l'Interaction entre un humain et son environnement ambiant) financé par l'INS2I, programme Science de l'Information en Interaction avec l'Humain du CNRS en 2018. Cette équipe a défini un modèle mixte de l'adaptation fondé sur des indicateurs de la triade : système interactif, environnement et profil utilisateur. Par exemple :

- un indicateur pour l'utilisateur pourrait être l'état sensoriel (variable visuelle ; variable auditive) de la personne,
- un indicateur pour le système interactif pourrait être son état de mode d'interaction (monomodal, multimodal)
- et un indicateur pour l'environnement pourrait être son état sonore (niveau de bruit). Ainsi, selon les états de ces indicateurs et le croisement entre eux, des processus d'adaptation telle que la taille des boutons et/ou l'énonciation du contenu du bouton pourraient être mis en jeu, par exemple, dans le cas d'une personne malvoyante. Cet exemple montre que le processus de l'adaptation demeure encore un verrou scientifique que les méthodes de conception devront intégrer dans la phase d'expression des besoins et celle du prototypage. La disponibilité d'objets connectés au sein des lieux de vie fournit des données environnementales et comportementales que les processus d'adaptation devront considérer ainsi que le comportement des usagers pour la mise en œuvre de ces processus d'adaptation.

6.3. ADAPTATION DES RÈGLES DANS OPENHAB VIA L'IA POUR UNE INTERACTION ADAPTÉE

La plate-forme d'interopérabilité OpenHab [62, 69] permet d'interconnecter les objets connectés au moyen de différents protocoles de communication. Elle permet aussi de modéliser des scénarios d'usage en mettant en œuvre des règles. Ces règles permettent d'automatiser le fonctionnement des objets connectés par rapport à une date, une heure, un état de déclencheur, un mode interaction et le dialogue d'interaction associé, une donnée venant de capteurs, etc. Par exemple, lorsqu'une personne veut aller se coucher : la lumière s'allume automatiquement dans sa chambre à une heure bien précise pour mettre en place des mesures de sécurité afin d'éviter les chutes par exemple.

La conception de ce genre de scénario demande d'observer les habitudes de la personne sur plusieurs plages journalières et dans le temps. La plate-forme d'interopérabilité OpenHab permet de récupérer des données lorsque la personne interagit avec les objets connectés. Ces données se composent d'états de boutons, de données provenant de capteurs, des états des effecteurs et des données associées aux d'interaction venant des utilisateurs, et constituent une base de données. À partir de celle-ci, nous pouvons imaginer que les outils d'apprentissage de l'intelligence artificielle apprennent les habitudes de cette personne pour aller se coucher à une certaine heure et donc allumer la lumière à ce moment-là. L'intelligence artificielle pourra alors créer ou adapter la règle pour allumer la lumière de sa chambre selon ses habitudes.

[86] a évalué une interface tactile et un assistant vocal Fire TV Amazon pour contrôler les divers équipements (fenêtres, télévision, volets, meubles, lumières, etc.) de la MIB. Les objets connectés et les deux interfaces sont connectés à la plateforme Open Hab. Deux scénarios (contrôlé et libre) ont été mis en œuvre dans un objectif d'identifier les modalités d'interaction adaptés à une population de personnes en situation de handicap (moteur, malentendant, déficient visuel et auditif, troubles du langage). Pour cette pluralité de situation de handicap, cette étude démontre que le choix de la modalité d'interaction (tactile vs vocale ou multimodale (tactile et vocale)) doit être possible. La base de données acquise sous OpenHab et l'utilisation d'algorithmes de l'IA permettront d'envisager cette adaptation on line dans les nouvelles versions des interfaces.

7. RECOMMANDATIONS POUR DES PLATEFORMES INTELLIGENTES

7.1. L'ADAPTATION AU CONTEXTE ET À L'HABITANT

Les plateformes intelligentes doivent permettre d'intégrer et d'interconnecter une variété d'objets connectés au travers de solutions permettant leur interopérabilité comme les plateformes de domotique open source « Home assistant », Domoticz, Jeedom ou « OpenHab » et des mécanismes d'acquisition de données hétérogènes nécessaires à l'adaptation de l'interaction en fonction de l'environnement ambiant et/ou de la situation de handicap. Par exemple, pour qu'une personne en situation de

handicap puisse habiter dans son lieu de vie, celui-ci doit être capable de s'adapter à ses comportements et à ses activités.

Pour ce faire, le lieu de vie doit disposer de technologies capable de détecter le profil de l'habitant et d'ajuster son environnement à ses besoins que ce soit pour adapter les conditions ambiantes (température, taux d'humidité, teneur en CO₂, luminosité...), la configuration des équipements (hauteur de l'évier, du lavabo, du placard, du lit...) ou encore les modalités d'interactions humain-machine pour le pilotage des objets connectés qui doivent rester accessibles à la personne quelle que soit la situation de handicap.

Par exemple, pour une personne avec une déficience visuelle, les retours visuels d'une tablette tactile devront être notifiés par un message vocal ou par un retour haptique. Par contre, si la personne en situation de handicap est malentendante, le retour doit utiliser la modalité visuelle ou un avatar communiquant via la Langue des Signes. Ces deux exemples concrets montrent que des algorithmes d'analyse et de décision doivent être développés pour être intégrés dans les plateformes.

7.2. LA SCÉNARISATION DE CAS D'USAGE

Les plateformes doivent être dotées d'outils de jeux de scénarisation de cas d'usage, comme celui sur la sécurité de l'habitant (appel au secours, ouverture des accès, coupure des équipements électriques, message vocal pour rassurer la personne dans le cas d'un incident, rappel mémoire...) ou sur celui du contrôle de l'environnement (commande des équipements : TV, portes d'accès, volets roulants, chauffage, éclairage...).

La communauté HCI (Human Computer Interaction) [89] considère les scénarios d'usage comme des leviers de découverte des besoins et des utilisations des utilisateurs et donc des outils de la conception centrée utilisateur. [63] considèrent que les scénarios ont pour vocation première de décrire la situation dans laquelle l'usage de l'outil en cours de conception, va se construire.

Décrire cette situation revient à anticiper les modalités de l'interaction future entre la technologie/le service en conception et ses utilisateurs. Ces scénarios sont des supports pour faciliter la communication entre les acteurs du processus de conception centré utilisateurs et sont des guides pour orienter les choix de conception. Il est en effet essentiel de rendre les personnes volontaires actrices dans un environnement se rapprochant des conditions réelles de vie et leur proposer d'utiliser des technologies/services selon des scénarios prédéfinis ou libres afin d'observer les comportements, les usages, les postures et attitudes et surtout réactions face aux difficultés pouvant être rencontrées. Définir des scénarios d'usage permet de mieux se projeter et de mieux cerner l'acceptation technologique ou les freins en fonction des déficiences. Ces scénarios d'usage sont par conséquent des outils indispensables à la conception de service et de technologies pour les habitats intelligents.

Comme on l'a vu précédemment à la section 5, ces mises en situations doivent bien entendu être corrélées aux besoins exprimés et aux attentes des personnes et de leur famille afin de bien définir les solutions à développer. Certaines personnes

atteintes de troubles de la marche, de la préhension, de la vue, de l'ouïe, de la mémoire peuvent montrer de fortes difficultés dans la réalisation des tâches demandées dans les scénarios (problème de prise en main de la tablette, d'élocution pour interagir avec un assistant vocal, oubli du fil des tâches à réaliser, de déplacement...). La réalisation de ces scénarios peut mettre en lumière les axes de recherche à investiguer pour proposer des solutions permettant de surmonter ces difficultés.

L'intelligence artificielle peut contribuer à ces solutions par exemple en proposant, selon l'observation instantanée et la connaissance du contexte et du comportement de l'habitant, des interfaces adaptatives optimisant l'interaction humain-machine. Les recommandations issues de ces étapes de scénarisation de tâches dans un environnement contrôlé devront ensuite être évaluées ensuite en milieu de vie réel.

7.3. DES INFRASTRUCTURES DE TESTS CONFIGURABLES ET OUVERTES

L'augmentation exponentielle des objets connectés dans l'habitat permet aux développeurs et offreurs de services de proposer des solutions grands publics permettant de renforcer le bien-être et le confort de vie dans son domicile. Cependant, ces solutions bien que souvent efficaces et relativement fiables pour la plupart ne sont pas toujours bien utilisées, adaptées ou perçues comme utiles par l'utilisateur. Des plateformes intelligentes flexibles et reconfigurables sont alors nécessaires pour mettre en situation de vie quasi réelle des testeurs de ces solutions et recueillir leurs besoins, leurs ressentis et la façon dont les dispositifs proposés sont appropriés. Ces tests peuvent permettre souvent de voir que les usages sont détournés de leur objectif premier incitant alors les concepteurs à adapter leur solution voire leur modèle économique. Les champs du confort et de l'énergie sont ceux qui depuis toujours attirent les consommateurs car ils y voient un intérêt pratique, immédiat et économique. Les technologies leur permettent de prendre le contrôle total et de décider quelles actions doit engager son habitat sur ses équipements pour s'adapter à ses propres besoins et à son mode de vie. Ces plateformes doivent être pensées pour pouvoir être configuré quel que soit le type de situation et permettre simplement à l'utilisateur d'être connecté à sa maison. Ceci nécessite une infrastructure de communication souple, ouverte aux différents protocoles qui seront intégrés dans les produits connectés du quotidien (TV, électroménager, chauffage, fluide, éclairage, accès, commande vocale...).

8. CONCLUSION

Le « Bien vieillir, à son domicile » est une préoccupation majeure de nos sociétés modernes qui réfléchissent à des solutions innovantes pour se sentir mieux, plus autonome et en toute sécurité dans son lieu de vie. Or ceci ne se réalise pas sans des solutions bien pensées, adaptées pour l'utilisateur et au service de l'utilisateur. Dans cet article, nous avons présenté l'intérêt que présente l'apport d'une structure telle qu'une Maison Intelligente dans la conception et l'évaluation de technologies adaptées, pour l'autonomie des personnes âgées. Bien que très ancien, le concept de Maison Intelligente a évolué à travers le temps. Les approches actuelles, plus globales,

plus complètes, replacent l’habitant « au centre du jeu ». L’approche des Living Labs, ou Laboratoires Vivants, placent l’expression des besoins de l’habitant et de son écosystème de vie au centre de la problématique scientifique et technique. Le profil social de la personne ou bien encore son profil de santé sont des données d’entrée qui sont indispensables à connaître pour une adaptation réussie du service proposé. La technologie est dès lors développée pour répondre aux attentes des utilisateurs. Elle permet de rendre l’habitat plus sûr, capable de s’adapter et d’interagir avec son occupant. La maison n’est plus seulement un lieu domotisé et connecté, mais un véritable espace de conception et d’évaluation des technologies pour l’aide et l’assistance des personnes âgées. Cet espace de conception, d’observation et d’évaluation des usages constitue un maillon essentiel entre l’environnement « contrôlé » en laboratoire et l’environnement écologique, le True Life Lab.

Les perspectives de ces travaux sont nombreuses. Plusieurs challenges ont en effet été détaillés dans le dernier chapitre de cet article. L’approche présentée ici soulève notamment de nouveaux enjeux scientifiques liés à la collecte d’un volume important de données, à leur agrégation et à leur interprétation, à l’apport des plateformes d’interopérabilité pour connecter les données d’interaction, aux nouveaux modes d’interaction et à leur adaptation encouragée par les possibilités offertes par l’IA. Les enjeux sont également d’ordre technique : les informations liées à l’usager, acteur de son habitat, doivent être enrichies par des données contextuelles in situ ou dans le cloud pour prendre pleinement connaissance de la situation et traiter l’information par l’utilisation des techniques informatiques avancées permises par l’IA. Ceci n’est pas sans poser la question de l’interopérabilité des sources produisant ces données hétérogènes et non synchronisées. Les outils d’analyse et d’aide à la décision sont amenés à être de plus en plus performants et autonomes : dans un futur proche, les techniques d’apprentissage multicentrique permettront l’anticipation et l’adaptation autonome de l’interaction de la personne au contexte ambiant contribuant à l’aide et l’assistance des personnes au sein de leur lieu de vie.

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] F. AMIRABDOLLAHIAN, R. OP DEN AKKER, S. BEDAF, R. BORMANN, H. DRAPER, V. EVERS & I. IACONO, « Accompany: Acceptable robotiCs COMPanions for AgeiNG Years-Multidimensional aspects of human-system interactions », *Human System Interaction (HSI). IEEE 6th International Conference* (2013), p. 570-577.
- [3] A. BERDASCO, G. LÓPEZ, I. DIAZ, L. QUESADA & L. A. GUERRERO, « User experience comparison of intelligent personal assistants: Alexa, Google Assistant, Siri and Cortana », *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* **31** (2019), n° 1, p. 51.
- [4] A. VAN DEN BOSSCHE, M. BLANC MACHADO, T. VAL, F. VELLA & N. VIGOUROUX, « Utilisation des noeuds WiNoIR pour connecter tous les équipements domotiques d’un habitat intelligent », in *Journée Nationale de l’Internet des Objets : Nouveaux défis de l’Internet des Objets : Interaction Homme-Machine et Facteurs Humains (2016)* (Paris-Saclay, France), 2016, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01692717>, p. 1-4.

- [5] A. VAN DEN BOSSCHE, É. CAMPO, J. DUCHIER, E. BOUGEOIS, M. BLANC MACHADO, T. VAL, F. VELLA & N. VIGOUROUX, « Multidimensional observation methodology for the elderly in an ambient digital environment », in *15th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2016)* (Linz, Austria), vol. 9758, 2016, p. 285-292.
- [6] A. VAN DEN BOSSCHE, R. DALCE, N. GONZALEZ & T. VAL, « LocURa: A New Localisation and UWB-Based Ranging Testbed for the Internet of Things », in *IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2018)* (Nantes, France), 2018, p. 1-6.
- [7] A. VAN DEN BOSSCHE, R. DALCÉ & T. VAL, « Enabling Fast-prototyping of Connected Things using the WiNo* Family », *Internet of Things* **17** (2017), n° 1, p. 77-104.
- [8] A. VAN DEN BOSSCHE, N. GONZALEZ, T. VAL, D. BRULIN, F. VELLA, N. VIGOUROUX & É. CAMPO, « Specifying an MQTT Tree for a Connected Smart Home », in *International Conference on Smart Homes and Health Telematics*, 2018, p. 236-246.
- [9] E. BOUGEOIS, J. DUCHIER, F. VELLA, M. B. MACHADO, A. VAN DEN BOSSCHE, T. VAL & É. CAMPO, « Post-test perceptions of digital tools by the elderly in an ambient environment », in *International Conference on Smart Homes and Health Telematics*, 2016, p. 356-367.
- [10] E. BOUGEOIS, J. DUCHIER, F. VELLA & N. VIGOUROUX, « L'acceptance des nouvelles technologies par des personnes âgées », in *NumAccess « Entre compensation et accessibilité : quels usages du numérique dans les travaux sur les Handicaps et la perte d'Autonomie ? »* (Nantes, France), 2017.
- [11] S. BOUZIT, G. CALVARY, J. COUTAZ, D. CHÊNE, E. PETIT & J. VANDERDONCKT, « The PDA-LPA design space for user interface adaptation », in *2017 11th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS)* (Brighton, United Kingdom), IEEE Press, 2017, p. 353-364.
- [12] R. M. BRANCO, J. QUENTAL & Ó. RIBEIRO, « Playing with personalisation and openness in a codesign project involving people with dementia », in *Proceedings of the 14th Participatory Design Conference: Full papers 1* (2016), p. 61-70.
- [13] A. BRUNET, « Évolution de la domotique à la maison intelligente en 2015 », <https://www.domo-blog.fr/infographie-domotique-smart-home>, 2015.
- [14] É. CAMPO, A. VAN DEN BOSSCHE, N. VIGOUROUX, F. VELLA, X. DARAN, E. OSUCH & P. RUMEAU, « Déploiement et expérimentation d'un système socio-technique pour la surveillance des activités comportementales de personnes en perte d'autonomie dans un habitat intelligent », in *Workshop Alzheimer, Approche pluridisciplinaire : De la recherche clinique aux avancées technologiques (WS-ALZHEIMER 2013)*, 2013, p. 75-86.
- [15] É. CAMPO, M. CHAN, S. BONHOMME & D. ESTÈVE, « Smart ambient systems for health monitoring at home », in *International Symposium on Ambient Intelligence (ISAmI 2010)* (Guimaraes, Portugal), 2010, p. 39-46.
- [16] É. CAMPO, M. CHAN & D. ESTÈVE, « L'apprentissage des modes de vie, une base indispensable au développement d'un habitat intelligent », *Les Annales des Télécommunications, Télécommunications et Santé* **58** (2003), n° 5-6, p. 850-865.
- [17] É. CAMPO, X. DARAN & L. REDON, « Une maison intelligente au carrefour des sciences technologiques et des sciences humaines », in *2nd International Conference sur l'accessibilité et les systèmes de suppléance aux personnes en situation de handicap*, 2011, p. 33-42.
- [18] É. CAMPO, D. ESTÈVE & M. CHAN, « Conception d'un habitat adapté pour l'aide à l'autonomie des personnes âgées », *Les cahiers de l'année Gérontologique* **4** (2012), p. 356-363.
- [19] L. CAROUX, É. CAMPO, N. VIGOUROUX, E. BOURREAU, C. MAUREEN, C. GORCE GRAFF, M. HUCHARD, D. ISTRATE, J. JACQUIER-BRET, N. LOMPRÉ, N. PINÈDE, L. RICO DUARTE, M. SACHER, A. SERNA, A. SERPA, A. VAN DEN BOSSCHE & F. VELLA, « MAN : Mise en Place d'une Méthode d'Évaluation Croisée de l'Accès aux Ressources Numériques », in *Conférence Handicap 2018 – Session spéciale « Défi Auton » CNRS* (Paris, France), 2018.
- [20] T. CATARCI, F. CINCOTTI, M. DE LEONI, M. MECELLA & G. SANTUCCI, « Smart Homes for All: Collaborating Services in a for-All Architecture for Domotics », in *Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing* (Berlin, Heidelberg) (E. Bertino & J. B. D. Joshi, eds.), vol. 10, Springer Berlin Heidelberg, 2009, p. 56-69.
- [21] Y. CHAHER, J. BELAUD & H. PINGAUD, « Managing open innovation in connected health through a living lab », in *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* (Funchal, Portugal), 2017, p. 577-583.

- [22] M. CHAN, É. CAMPO & D. ESTÈVE, « Assessment of activity of elderly people using a home monitoring system », *Int. Journal of Rehabilitation Research* **28** (2005), n° 1, p. 69-76.
- [23] 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), n° 1, p. 55-81.
- [24] Y. CHARLON, W. BOURENNANE, F. BETTAHAR & É. CAMPO, « Activity monitoring system for elderly in a context of smart home », *IRBM* **34** (2013), n° 1, p. 60-63.
- [25] 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.
- [26] J. COELHO & C. DUARTE, « The Contribution of Multimodal Adaptation Techniques to the GUIDE Interface », in *Universal Access in Human-Computer Interaction. Design for All and eInclusion* (Berlin, Heidelberg) (C. Stephanidis, éd.), Springer Berlin Heidelberg, 2011, p. 337-346.
- [27] T. COUGHLAN, K. L. MACKLEY, M. BROWN, S. MARTINDALE, S. SCHLÖGL, B. MALLABAND et al., « Current Issues and Future Directions in Methods for Studying Technology in the Home », *PsychNology Journal* **11** (2013), n° 2, p. 159-184.
- [28] R. CURRY, M. TREJO-TINOCO & D. WARDLE, *The Use of Information and Communication Technology to Support Independent Living for Older and Disabled People*, London: Department of Health, Londre, Angleterre, 2003.
- [29] I. DAHN, P. FERDINAND & P. LACHMANN, « Supporting Senior Citizen Using Tablet Computers », *Computers Helping People with Special Needs* **8548** (2014), p. 323-330.
- [30] DREES, « Données individuelles anonymisées des bénéficiaires de l'APA, 2006-2007 », <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/article43.pdf>, 2013, INSEE, projections de population 2007-2060.
- [31] L. DUPUY, C. CONSEL & H. SAUZÉON, « Self-determination-based design to achieve acceptance of assisted living technologies for older adults », *Computers in Human Behavior* **65** (2016), p. 508-521.
- [32] K. M. FEIGH, M. C. DORNEICH & C. C. HAYES, « Toward a characterization of adaptive systems: A framework for researchers and system designers », *Human factors* **54** (2012), n° 6, p. 1008-1024.
- [33] D. FISK, N. CHARNESS, S. J. CZAJA, W. A. ROGERS & J. SHARIT, *Designing for older adults*, CRC press, 2004.
- [34] 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 phenotyp », *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* **56** (2001), n° 3, p. 146-157.
- [35] M. GALLISSOT, J. CAELEN, F. JAMBON & B. MEILLON, « Une plate-forme usage pour l'intégration de l'informatique ambiante dans l'habitat : Domus », *Techniques et sciences informatiques* **32** (2013), n° 5, p. 547-574.
- [36] M. GUFFROY, N. VIGOUROUX, C. KOLSKI, F. VELLA & P. TEUTSCH, « From Human-Centered Design to Disabled User & Ecosystem Centered Design in Case of Assistive Interactive Systems », *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development (IJSKD)* **9** (2017), n° 4, p. 28-42.
- [37] J. HOEY, T. SCHRÖDER & A. ALHOTHALI, « Affect control processes: intelligent affective interaction using a partially observable Markov Decision process », *Artificial Intelligence* **230** (2016), p. 134-172.
- [38] I-CARE LAB, « Rapport d'activités Cluster I-CARE (2017) », <http://i-carecluster.org/wp-content/uploads/2018/05/rapport-activite-icare-2018WebLD.pdf>, 2017.
- [39] INSEE, « France, portrait social, édition 2020 – Insee Références », <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4797614?sommaire=4928952>, 2020.
- [40] ISO, « ISO 13407:1999 — Processus de conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs, s. d. ».
- [41] ———, « ISO 9241-210:2010 – Ergonomie de l'interaction homme-système – Partie 210 : Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs, s. d. ».
- [42] M. P. JANALHIAC, « Open innovation methods in co-design: Example project », *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* **58** (2015), article no. e53.
- [43] F. X. JEULAND, *La maison communicante*, Groupe Eyrolles (extrait), 2005, parution 22/03/2012.
- [44] Z. X. JIN, T. PLOCHER & L. KIFF, « Touch Screen User Interfaces for Older Adults: Button Size and Spacing », in *Proceedings of the 4th international conference on Universal access in human computer interaction: coping with diversity*, vol. 4554, 2007, p. 933-941.

- [45] R. B. JOHNSON, A. J. ONWUEGBUZIE & L. A. TURNER, « Toward a definition of mixed methods research », *Journal of Mixed Methods Research* **1** (2007), n° 2, p. 112-133.
- [46] R. KADOUCHE, « Modélisation du profil utilisateur et personnalisation dans les espaces de vie intelligents », Thèse, Institut National des Télécommunications, Evry, France, 2007.
- [47] C. LALLEMAND, V. KOENIG;, G. GRONIER & R. MARTINC, « Création et validation d'une version française du questionnaire AttrakDiff pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des systèmes interactifs », *Revue européenne de psychologie* **65** (2015), n° 5, p. 239-252.
- [48] G. LEITNER, D. AHLSTRÖM & M. HITZ, « Usability – Key Factor of Future Smart Home Systems », in *Home Informatics and Telematics: ICT for The Next Billion* (Boston, MA), Springer US, 2007, p. 269-278.
- [49] S. LINDSAY, D. JACKSON, G. SCHOFIELD & P. OLIVIER, « Engaging older people using participatory design », in *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, Association for Computing Machinery, 2012, p. 1199-1208.
- [50] B. LOUREIRO & R. RODRIGUEZ, « Design Guidelines and Design Recommendations of Multi-Touch Interfaces for Elders », in *ACHI 2014: The Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions* (Barcelone, Espagne), 2012.
- [51] L. MALIGNE, « Exploitation de données dans le cadre d'une expérimentation dans la Maison Partagée d'Âges Sans Frontières », Tech. report, Master MAPI3, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, Septembre 2022.
- [52] E. MARTÍNEZ & A. P. DEL POBIL, « Personal Robot Assistants for Elderly Care: An Overview », in *Personal Assistants: Emerging Computational Technologies*, Intelligent Systems Reference Library, vol. 132, Springer International Publishing, 2018, p. 77-91.
- [53] E. MISTRETTA, A.-A. LALANI & J. SIAU, « Utilising passive indoor localisation of people and energy device identification to enhance the intelligence of smart home systems », in *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)*, 2017, p. 1-5.
- [54] V. G. MOTTI & J. VANDERDONCKT, « A computational framework for context-aware adaptation of user interfaces », in *IEEE 7th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS)*, 2013, p. 1-12.
- [55] N. NAIK, « Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP », in *2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, 2017, p. 1-7.
- [56] J. NIELSEN, *Usability Engineering*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1994.
- [57] N. NOURY et al., « Ailisa plateformes d'évaluations pour des technologies de télésurveillance médicale et d'assistance en gérontologie », *Gérontologie et société* **28** (2005), n° 2, p. 97-119.
- [58] N. NOURY, P. VIRONE, G. AND BARRALON, V. RIALLE & J. DEMONGEOT, « Maisons intelligentes pour personnes âgées : technologies de l'information intégrées au service des soins à domicile », *J3ea 3* (2004), article no. 020 (12 pages).
- [59] OASIS, « MQTT Specification v3.1.1 », <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>, 2014.
- [60] N. A. PACHANA (éd.), *Encyclopedia of Geropsychology*, Springer Singapore, 2017.
- [61] C. PANASSIER, « La robotique d'assistance : un véritable secteur d'avenir? », 2011, Trajectoires – Reflex. Direction de la Prospective et du Dialogue Public.
- [62] RAYMARK C. PAROCHA & E. Q. B. MACABEBE, « Implementation of Home Automation System Using OpenHAB Framework for Heterogeneous IoT Devices », in *2019 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IoT&IS)*, 2019, p. 67-73.
- [63] A. PASCAL & E. ROUBY, « Construire des scénarios d'usage : une approche cognitivo-structurationniste – Le cas KMP », in *SdC2006* (France), vol. 2, 2006, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00490431>.
- [64] R. PEA, « User Centred System Design-New Perspectives on Human/Computer Interaction », *J. Educ Comput Res* **3** (1987), p. 129-134.
- [65] R. PICARD, « La co-conception en Living Lab santé et autonomie », 2017, Synthèse du travail collectif dirigé par Robert Picard, ingénieur général des mines, référent santé Conseil général de l'économie, Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique, remis Monsieur le ministre Michel Sapin.
- [66] R. PICARD & L. POILPOT, « Pertinence et valeur du concept de Laboratoire vivant (Living Lab) en santé et autonomie », 2011, Rapport du CGIET de juillet 2011.

- [67] H. PIGOT & S. GIROUX, « Living labs for designing assistive technologies », in *2015 17th International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom)*, 2015, p. 170-176.
- [68] P. PLUYE, M.-P. GAGNON, F. GRIFFITHS & J. JOHNSON-LAFLEUR, « A scoring system for appraising mixed methods research, and concomitantly appraising qualitative, quantitative and mixed methods primary studies in Mixed Studies Reviews », *International journal of nursing studies* **46** (2009), p. 529-546.
- [69] B. PRANZ & M. SCHILLER, « Smart Home with openHAB », https://www.researchgate.net/publication/342171578_Smart_Home_with_openHAB, 2018.
- [70] N. RAPEGNO & C. ROSENFELDER, « Inclure et sécuriser dans les habitats alternatifs », https://www.cnsa.fr/documentation/bloch-rapegno-rosenfelder_-_ehesp-cnsa_-_2022.pdf, 2022, École des hautes études en santé publique.
- [71] P. RASHIDI & D. J. COOK, « Keeping the Resident in the Loop: Adapting the Smart Home to the User », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans* **39** (2009), n° 5, p. 949-959.
- [72] K. RENAUD & J. BILJON, « Predicting technology acceptance and adoption by the elderly: A qualitative study », in *Proceedings of the 2008 annual research conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists on IT research in developing countries: riding the wave of technology*, vol. 338, 2008, p. 210-219.
- [73] V. RIALLE, « Technologies nouvelles susceptibles d'améliorer les pratiques gérontologiques et la vie quotidienne des malades âgés et de leur famille », <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/074000390/index.shtml>, 2022, Rapport Ministère de la santé et des solidarités.
- [74] J. RUBIN & D. CHISNELL, *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design and Conduct Effective Tests*, Wiley Publishing, 2008.
- [75] P. RUMEAU, N. VIGOUROUX, É. CAMPO, E. BOUGEOIS, F. VELLA, A. VAN DEN BOSSCHE, T. VAL & J. ANCILOTTO, « Technological Services in Shared Housing: Needs Elicitation Method from Home to Living Lab », *Innovation and Research in BioMedical engineering* **42** (2021), n° 2, p. 73-82.
- [76] J. SOAR & P. CROLL, « Assistive Technologies for the Frail Elderly, Chronic Illness Sufferers and People with Disabilities – a Case Study of the Development of a Smart Home », in *ACIS2007 Proceedings of the 18th Australasian Conference on Information Systems*, 2007, p. 937-944.
- [77] STREETLAB, « Homelab : une maison laboratoire pour les malvoyants, Institut de la vision », <http://www.streetlab-vision.com/homelab/>.
- [78] N. STREITZ & P. MARKOPOULOS (éds.), *Distributed, Ambient and Pervasive Interactions, 4th International Conference, DAPI 2016, Held as Part of HCI International 2016, July 17-22, 2016, Proceedings*, Toronto, ON, Canada, Springer-Verlag, 2016.
- [79] H. SUN, V. DE FLORIO, N. GUI & C. BLONDIA, « The missing Ones: Key Ingredients Towards Effective Ambient Assisted Living Systems », *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments* **2** (2010), n° 2, p. 109-120.
- [80] F. VELLA, M. BLANC MACHADO, N. VIGOUROUX, A. VAN DEN BOSSCHE & T. VAL, « Connexion du Middleware MiCom avec l'interface tactile InTacS pour le contrôle d'une smart home », in *11èmes Journées francophones Mobilité et Ubiquité (UBIMOB 2016)* (Lorient, France), 2016, p. 1-6.
- [81] F. VELLA, D. SAUZIN & N. VIGOUROUX, « An evaluation tool the subject / the pointing device pair », in *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (San Francisco), vol. 2, 2012, p. 559-568.
- [82] N. VIGOUROUX, A. VAN DEN BOSSCHE, F. VELLA & É. CAMPO, « MIOZ: a Wizard of Oz platform to design ambient technologies », in *Journées RITS 2015* (Dourdan, France), 2015, Congrès sous l'égide de la Société Française de Génie Biologique et Médical (SFGBM), p. 168-169.
- [83] N. VIGOUROUX, É. CAMPO, C. GRIMAUD, F. VELLA & E. BOUGEOIS, « Approche méthodologique pluridisciplinaire pour l'observation de la prise en main de technologies numériques par des personnes âgées », in *Des services à la personne à la silver économie Comment accompagner le vieillissement de la population à domicile sur les territoires aujourd'hui et demain ?*, EMS, 2017, p. 103-120.
- [84] N. VIGOUROUX, É. CAMPO, N. LOMPRÉ, F. VELLA, L. CAROUX, P. GORCE, D. ISTRATE, J. JACQUIER-BRET, A. SERPA & A. VAN DEN BOSSCHE, « Démarche de co-conception d'une méthode d'observation

- et d'évaluation multidimensionnelle de l'accessibilité au numérique », *Tic&société* **12** (2018), n° 2, p. 151-183, Dossier : « Numérique et situations de handicap : les enjeux de l'accessibilité ».
- [85] N. VIGOUROUX, É. CAMPO, F. VELLA, L. CAROUX, M. SACHER, D. ISTRATE, N. LOMPRÉ, P. GORCE, J. JACQUIER-BRET, N. PINÈDE, A. SERPA & A. VAN DEN BOSSCHE, « Multimodal observation method of digital accessibility for elderly people », *Innovation and Research in BioMedical engineering* **42** (2021), n° 3, p. 135-145.
- [86] N. VIGOUROUX, F. VELLA, G. LEPAGE & É. CAMPO, « Usability Study of Tactile and Voice Interaction Modes by People with Disabilities for Home Automation Controls », in *Computers Helping People with Special Needs. ICCHP-AAATE 2022*, Springer, Cham, 2022, p. 139-147.
- [87] D. VOILMY, « Les living labs et la conception participative : l'exemple d'ActivAgeing », *Retraite et Societe* **75** (2017), p. 125-136.
- [88] D. C. YACCHIREMA, C. E. PALAU & M. ESTEVE, « Enable IoT interoperability in ambient assisted living: Active and healthy aging scenarios », in *2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)* (Las Vegas, NV), 2017, p. 53-58.
- [89] R. M. YOUNG & P. BARNARD, « The Use of Scenarios in Human-Computer Interaction Research: Turbocharging the Tortoise of Cumulative Science », in *Proceedings of the SIGCHI/GI Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface* (New York, NY, USA), CHI '87, Association for Computing Machinery, 1987, p. 291-296.

ABSTRACT. — “Aging well at home” is a major concern of our modern society where technological innovation allows people to be more independent and to live in their place of life with a better level of security. However, in order to come up with adapted and effective solutions, it is necessary to take care of the design and evaluation of the proposed technologies. In this article, we detail the interest of the contribution of a structure such as a Smart Home in this process of design and evaluation by taking as an example the platform “Smart home of Blagnac”.

KEYWORDS. — Smart home, Design, Ambient Intelligence, Usage, Autonomy, Aging, Observation methods.

Manuscrit reçu le 10 octobre 2018, accepté le 25 octobre 2022.