HAL
open science

Une plate-forme usage pour l'intégration de l'informatique ambiante dans l'habitat : Domus

Mathieu Gallissot, Jean Caelen, -Francis Jambon, Brigitte Meillon

To cite this version:

Mathieu Gallissot, Jean Caelen, -Francis Jambon, Brigitte Meillon. Une plate-forme usage pour l'intégration de l'informatique ambiante dans l'habitat : Domus. Techniques et sciences informatiques, 2013. hal-02928362

HAL Id: hal-02928362

https://hal.science/hal-02928362

Submitted on 2 Sep 2020

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.

Une plate-forme usage pour l'intégration de l'informatique ambiante dans l'habitat : Domus

Mathieu Gallissot*,— Jean Caelen*— Francis Jambon*— Brigitte Meillon***

** Laboratoire LIG, Équipe MultiCom*
UJF-Grenoble 1 / Grenoble-INP / UMPF Grenoble 2 / CNRS UMR 5217
Grenoble, F-38041, France
*** SIRLAN Technologies*
3 rue Irène Joliot Curie, 38320 Eybens, France
{Prenom}.{Nom}@imag.fr

RÉSUMÉ. Cet article présente la plate-forme expérimentale Domus. Cette plate-forme accueille le prototype d'un appartement intelligent permettant la mise en place d'expérimentations liées à l'informatique ubiquitaire dans un contexte réaliste. Le champ d'application de la plate-forme est large : Domus permet d'évaluer les usages et les technologies autour du maintien à domicile, de l'économie d'énergie, du confort, etc. La plate-forme est équipée de nombreux capteurs et effecteurs domotiques reliés à un système d'interopérabilité. Elle permet ainsi un contrôle fin et modulable du comportement de l'appartement et met à disposition des expérimentateurs l'ensemble des traces d'activités de l'habitant et de l'appartement. Les retours d'expérience issus de l'utilisation de Domus avec de nombreux projets illustrent le bien-fondé de la démarche et montrent la pertinence de disposer d'une telle infrastructure pour étudier et déployer avec succès des technologies innovantes pour des pratiques touchant à l'informatique ambiante dans l'habitat.

ABSTRACT. In this paper we present the Domus experimental platform. This platform hosts the prototype of a smart home for the setup of experiments related to ubiquitous computing in a realistic context. The scope of the platform is wide: Domus is used to evaluate the practices and technologies around health and social home support, energy savings, comfort, etc. The platform is equipped with many sensors and actuators connected to a home automation interoperable system. This system allows fine control and flexible behavior of the apartment and makes available to experimenters all data related to inhabitant activity within the apartment. The feedback from using Domus with many projects illustrate the validity of the approach and show the relevance of having such an infrastructure to study and successfully deploy innovative technologies to practices affecting the computer room in the home.

MOTS-CLÉS : Intelligence ambiante, plateforme d'habitat intelligent, usages
KEYWORDS: Ambiant intelligence, smart home experimentation, uses

1. Introduction

L'habitat intelligent se présente à la fois comme l'héritier de la domotique, c'est-à-dire l'automatisation de certaines fonctions du bâtiment, mais aussi comme le lieu d'intégration de technologies venant des mondes de l'énergie, du multimédia et des télécommunications/télédiffusion, auxquels viennent s'ajouter des services comme la télésurveillance, l'e-commerce à domicile, etc. En outre, les applications autour de la santé et du maintien à domicile de personnes dépendantes prennent aujourd'hui une ampleur croissante face à la poussée socio-économique. L'ensemble des technologies numériques mises en œuvre afin de répondre à ces besoins (capteurs/effecteurs, réseaux, systèmes embarqués, logiciels et systèmes informatiques, interfaces homme-machine) concourent à faire de l'habitat intelligent une instanciation de « l'informatique ambiante ».

La domotique a une longue histoire autour de l'automatisation du bâtiment sans qu'il y ait eu d'évolution notable depuis plus de deux décennies (Brun *et al.* 1988). Un ensemble de technologies a pu être défini autour de la gestion technique du bâtiment et a donné lieu à un certain nombre de normes concernant les bus de communication. Mais pour Brun (1988), la domotique seule aura du mal à se développer car elle souffre de la complexité du domaine du bâtiment : le manque d'implication des architectes, la mauvaise formation des différents corps de métier concernés ainsi que « l'appât du gain au détriment de la rigueur ». Il y a donc peu de diffusion en pratique malgré une volonté industrielle certaine, ce qui contraste avec d'autres technologies numériques comme l'informatique mobile, la télévision numérique haute définition, l'ADSL qui généralise internet au domicile, etc. On assiste donc plutôt à l'heure actuelle à une « convergence » numérique en forme de patchwork autour du bâtiment réunissant plusieurs métiers d'une part et bouleversant les pratiques d'autre part.

Pourtant la demande est forte : besoin d'économie d'énergie par une meilleure gestion (développement durable, bâtiment à énergie positive, etc.), besoin de confort (recherche d'un meilleur confort multi-sensoriel, facilité d'utiliser l'habitat comme lieu de travail/loisir, etc.), besoin de maintien à domicile (accès à des services de soin, d'aide, etc.) (Bonino *et al.* 2011). Dans le même temps, cette demande n'est pas bien précise en termes d'usage car les technologies proposées sont également innovantes sur le plan socio-économique, ce qui rend la conception et l'intégration de nouveaux services très empiriques (Lefebvre 1997).

C'est à cette mise en regard des usages et des technologies que nous nous intéressons. Dans cet article, nous montrons la nécessité de développer des plates-formes d'expérimentation ad hoc pour pouvoir mesurer les comportements des utilisateurs/habitants, afin de concevoir les services dont l'utilité, l'utilisabilité et l'usage dans l'habitat auront été validés. Nous nous appuyons sur la plate-forme Domus, un appartement intelligent que nous avons conçu, équipé et qui nous a servi de support expérimental dans des travaux du domaine de l'habitat intelligent.

2. Problématique

La problématique soulevée dans cet article est celle de la réalisation d'une plate-forme d'expérimentation apte à traiter l'ensemble des problèmes exposés ci-dessus et répondre ainsi à la question : quels sont les infrastructures, outils et méthodes nécessaires pour mettre en œuvre l'informatique ambiante dans l'habitat, de manière à répondre à des usages aussi génériques que possible ?

Une des spécificités de l'habitat intelligent est que l'immobilier a un cycle de vie long pour les infrastructures (au minimum 20 ou 30 ans) ce qui impose des contraintes très différentes de celles des technologies numériques grand public dont le cycle de vie ne dépasse que rarement 5 ans, et dont le *turn-over* est rapide. Dans le contexte de l'habitat intelligent, il y a donc lieu de s'inscrire dans le « durable », ce qui peut être incompatible avec le changement des pratiques de vie, des manières d'habiter ou des usages. Ainsi, il est nécessaire de tester, dans des conditions proches de la réalité, les aspects d'utilisabilité et d'usage en amont, comme avec les systèmes interactifs classiques, mais avec un droit à l'erreur plus faible.

Plusieurs facettes sont à aborder pour l'évaluation : le design intérieur, l'intégration électrique, l'intégration informatique, l'utilisabilité des interfaces, les usages possibles *in fine* autour de services candidats, etc. Chacune de ces facettes a son importance pour le succès et l'adoption de l'informatique ambiante dans l'habitat. Une autre contrainte s'ajoute à ces objectifs d'évaluation : le contraste temporel. Le temps disponible pour réaliser de telles expérimentations est relativement court vis-à-vis de la durée d'utilisation à long terme de l'habitat, et de la formation des habitudes des occupants. Par ailleurs, compte tenu du coût significatif de telles infrastructures, il n'est pas possible non plus de construire un habitat pour chaque expérimentation d'usage : il faut une plate-forme techniquement adaptable afin d'être réutilisable.

Il y a donc lieu de cerner précisément les contours d'une telle plate-forme et d'en connaître les limites *a priori*. Des compromis doivent être nécessairement faits à l'égard de la question du « durable » tout en intégrant une vision sur tout le cycle de vie. Ainsi la plate-forme doit s'inscrire elle-même dans un « réseau » multiforme de services/tests (comme des Living Labs, des clusters, etc.) ou de démonstrateurs (comme maisons pilotes) afin de couvrir des situations expérimentales variées : in-vitro, in-simu, in-situ, et enfin in-vivo (Jambon *et al.* 2010).

L'habitat est avant tout un lieu personnel, certains l'analysent comme l'habit de l'habitant (Ekambi-Schmidt 1972). L'habitant le choisit, et bien souvent l'aménage à son image. Il ne s'agit donc pas pour une plate-forme d'évaluation de l'habitat intelligent de montrer une technologie particulière figée dans une vitrine, mais d'un ensemble dans lequel on habite effectivement sur de courtes périodes, sans toutefois y vivre complètement. Par exemple, Daniel Kaplan de la FING[1] soulève le fait que

[1] Fondation Internet Nouvelle Génération - http://fing.org

les maisons intelligentes construites sous l'axe de démonstrateurs sont vides de vie (Sabbah 2010). Certes, la démonstration technologique est pertinente, mais ces lieux ne donnent pas l'envie d'y habiter. En conséquence, toute tentative d'analyse orientée usage dans ce contexte est vouée à l'échec, car il est impossible d'obtenir des résultats pertinents. D'un autre côté, l'équipement temporaire de logements déjà habités pose un grand nombre de problèmes amenant à de nombreux biais d'usage. Notamnent, les technologies dont on dispose lors de ces tests ne sont généralement pas toujours techniquement mûres, et des interventions de maintenance ponctuelles sont parfois nécessaires. De plus, le respect de la vie privée des occupants impose une intervention minimale en cours d'expérimentation et une nécessaire limitation des types de données enregistrées.

3. État de l'art

On peut tracer les débuts de la domotique au début du 20ème siècle, avec en particulier la démonstration de la télémécanique par Branly (Branly 1905) et le concept de « Maison Electrique » de Knap (Magnien 1980), même si des travaux précèdent (Robert-Houdin 1867).

Dès les débuts de la domotique, le besoin de structures dédiées s'est fait ressentir face au nouveau défi que représente l'intégration de technologies alors nouvelles au sein du domaine traditionnel qu'est le bâtiment. Ainsi, dans les années 1980 se sont montées maisons témoins et structures expérimentales. On peut citer par exemple les maisons « Lyon Panorama », localisée à Caluire (Rhône), FAUST à Castelnaudary (Aude) ainsi que DELTA à Bonneville (Haute-Savoie). Ces maisons se voulaient innovatrices, esquissant ce que pourrait être l'habitat du futur. Parallèlement sont apparues des structures expérimentales, pilotées par académiques et industriels, comme HD2000 (Brun *et al.* 1988) à Rennes (Ille-et-Vilaine) et le SED[2] (Sarrat 1989) à Saint-Rémy-Lès-Chevreuse (Yvelines).

À l'étranger, plusieurs travaux ont également émergé, en gardant un principe de « démonstrateur de technologies ». Parmi ces lieux d'habitation, on peut citer la « TRON Intelligent House », conçue par Sakamura (Sakamura 1990)[3]. Cette maison intelligente était un démonstrateur pour promouvoir le système embarqué « TRON[4] », appliqué au domaine de l'habitat. Ces travaux ont permis la construction d'autres maisons, telles que la « Toyota Dream House PAPI » ainsi que la « U-home ». En plus de l'infrastructure technologique de ces maisons, des travaux importants ont été faits sur le plan architectural, que ce soit vis-à-vis de l'enveloppe, des matériaux ou encore de l'aménagement intérieur. Il est à noter que la technologie

---

[2] Site d'Essai pour la Domotique

[3] Une vidéo de présentation de cette maison intelligente est disponible à l'adresse : http://www.youtube.com/watch?v=7jPKEyM44GU

[4] The Realtime Operating system Nucleus

choisie dans ces travaux était très orientée usage (comme par exemple un système de rangement intelligent, inspiré de l'archivage automatisé de boîtes de rangements, boîtes identifiées par une photo de leur contenu).

En parallèle, des plateformes thématiques se sont développées. Par exemple pour le domaine de la santé. On peut citer les travaux liés à l'appartement « HIS[5] » et ses applications sur le maintien à domicile de personnes dépendantes (Thomesse *et al.* 2001; Nourizadeh *et al.* 2009), le laboratoire DOMUS[6] au Québec et ses travaux sur les habitants atteints du syndrome d'Alzheimer (Giroux *et al.* 2005). Une autre thématique émergente, l'économie d'énergie, pousse aujourd'hui les acteurs de ce domaine à développer des infrastructures placées au cœur de plateformes dédiées (Clanché *et al.* 2011), mais dans ce dernier cas l'occupant n'est pas considéré comme central dans le test.

Avec l'évolution des possibilités technologiques, certaines plates-formes se sont focalisées sur des problématiques de technologies ambiantes. Certaines sont spécialisées dans un domaine, comme « MavHome » pour l'analyse et la prédiction d'activité des occupants (Cook *et al.* 2003), ou « The Adaptive House » pour les comportements utilisateurs et l'informatique ambiante (Mozer 1998; Mozer 2005). D'autres plateformes plus génériques comme « The Aware Home » (Kidd *et al.* 1999) ont permis de développer un grand nombre d'applications (Kientz *et al.* 2008) par des approches centrées utilisateur ou bien technologiques.

Actuellement, les dernières plates-formes créées tendent à s'orienter de plus en plus vers le concept de Living Labs, mettant en œuvre des écosystèmes propices aux échanges pluridisciplinaires, comme le PlaceLab du MIT (Intille *et al.* 2006).

Enfin, pour « reconnaître » une maison intelligente, Ken Sakamura énonce les critères suivants, lus d'après (Cancellieri 1992) : « *Une maison sera disqualifiée au regard du classement dans la catégorie des maisons intelligentes si :*

- *L'information ne peut pas circuler librement de l'intérieur de la maison vers le monde extérieur, et vice-versa ;*
- *Si la maison fonctionne avec des ordinateurs intégrés qui ne peuvent pas parler entre eux ;*
- *Si sa domotisation consiste en un « patchwork » de gadgets ;*
- *Si elle est équipée avec des fonctions sophistiquées difficiles à utiliser ».*

Ces critères sont en adéquation avec les problématiques d'ambiance intelligente : la technologie d'une part (besoin d'ouverture, de coopération entre objets) et la prise en compte des besoins utilisateurs (ergonomie, accessibilité des interfaces utilisateurs) d'autre part.

---

[5] Habitat Intelligent pour la Santé

[6] Indépendant de la plate-forme que nous présentons dans cet article.

4. Présentation de la plate-forme Domus

4.1. *Positionnement*

L'objectif, lors de la construction de la plate-forme Domus, était de disposer d'un appartement intelligent, au sens de Sakamura, intégré dans un environnement propice à l'expérimentation orientée usage. La plate-forme Domus, que nous avons réalisée, a ainsi été conçue pour une utilisation suivant une approche « centrée utilisateur », en considérant qu'un habitat est un système interactif enveloppant l'individu.

Le cahier des charges peut se résumer ainsi : Domus devait être un appartement réaliste, aussi bien au niveau de la configuration des pièces, du mobilier et de l'équipement. Il devait être complètement versatile pour pouvoir modifier aisément le comportement de l'équipement ou intégrer de nouveaux équipements. Enfin, l'appartement devait disposer d'une instrumentation permettant de fournir un ensemble de données sur l'usage avec le même niveau de qualité et de complétude qu'un laboratoire d'utilisabilité.

Le processus de conception de la plate-forme a fait appel à l'ensemble de ses futurs utilisateurs, en incluant les chercheurs, ingénieurs, industriels, mais aussi les utilisateurs considérés comme des habitants occasionnels. Ce processus s'est basé au départ sur un ensemble de séances de conception participative (Caelen *et al.* 2005), puis la plate-forme a évolué en fonction des besoins des projets.

C'est cette démarche que nous explicitons ci-après, en présentant quelques exemples d'usages que l'on peut considérer comme piliers de la conception, de la mise en œuvre et le retour d'expérience.

4.2. *Réalisation matérielle*

La plate-forme Domus[7] a été construite dans le cadre de l'institut Carnot LSI[8]. Il s'agit du prototype d'un appartement intelligent de 40 m², illustré en Figure 1, Figure 2 et Figure 3. Cet appartement est composé de 3 pièces principales : (1) un espace cuisine, servant de lieu d'entrée comprenant un « coin repas » et une kitchenette, (2) une chambre avec salle de bains et (3) un bureau. Il est situé au sein de la plate-forme expérimentale MultiCom (Caelen 1999; Jambon *et al.* 2010), et dispose ainsi de ses outils expérimentaux (cf. paragraphe 4.4).

---

[7] http://multicom.imag.fr/recherche/spip.php?rubrique89

[8] http://www.carnot-lsi.com

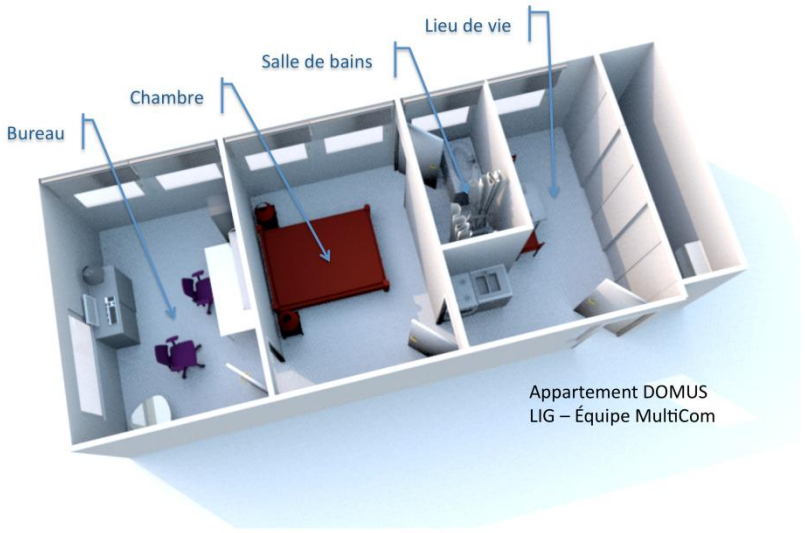

Figure 1. *Illustration 3D de la plate-forme Domus*

Les matériaux utilisés pour la construction de ses espaces permettent une reconfigurabilité, avec par exemple l'utilisation de panneaux de plâtres en parois, ou des réseaux fluides en tuyaux souples.

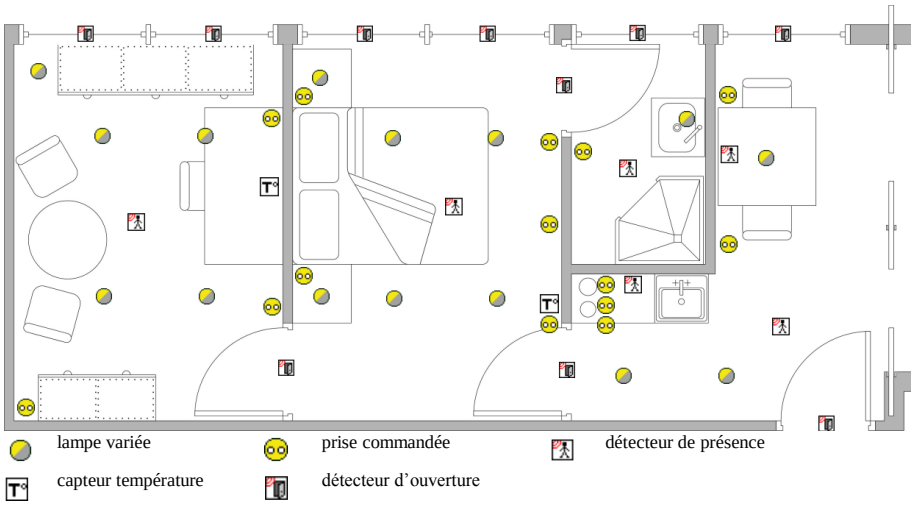

Figure 2. *Plan partiel d'implantation de capteurs et effecteurs équipant l'appartement Domus*

Chacune des pièces a été équipée avec du mobilier standard, ainsi que des équipements habituels (luminaires, équipement de cuisine, multimédia, etc.), afin d'en faire un appartement fonctionnel et habitable, au plus proche de la réalité. La kitchenette, par exemple, est pourvue d'espaces de rangements, de plaques de cuissons, d'un évier, d'un réfrigérateur et des ustensiles de cuisine. La chambre dispose d'un lit ainsi que d'espaces de rangements (Figure 3).

Figure 3. *Photos de l'aménagement de l'appartement, avec en haut à gauche l'espace cuisine, en haut à droite la chambre, en bas à gauche le bureau et en bas à droite la salle de bains*

En plus de l'aménagement mobilier, l'appartement dispose des réseaux techniques standards : eau, ventilation et électricité. Les réseaux d'eau (eau froide et eau chaude) sont fournis par le bâtiment, la ventilation (double flux) est quant à elle autonome, équipée d'un by-pass pour pouvoir optimiser ses paramètres. Le réseau électrique est spécifique aux architectures domotiques, où la distribution et la gestion des différents objets sont assurées par différents actionneurs situés dans le tableau électrique. L'ensemble de cette architecture spécifique est détaillée ci-après.

4.3. *Architecture technique (courants forts, courants faibles, informatique)*

L'architecture technologique de l'appartement est un point crucial. Toutes les informations issues des différents capteurs et actionneurs peuvent être centralisées et exportées au sein d'une même entité, par le biais d'une interface de programmation

aussi abstraite et complète que possible, afin de permettre aux développeurs de services de comprendre et assimiler les différents objets composant l'appartement.

La problématique de la convergence numérique est une constante depuis des années. L'habitat a pour difficulté d'être un lieu où de nombreuses technologies, de plus en plus intelligentes, se côtoient. On distingue souvent 4 catégories de produits : les produits liés au bâtiment (produits domotiques), les produits blancs (électroménager), les produits bruns (loisirs numériques) ainsi que les produits gris (micro-informatique). Au sein de chacune de ces catégories, il y a une tendance certaine à la convergence. L'informatique fut pionnière avec le modèle OSI (Zimmermann 1980) et le protocole IP. Les produits bruns ont tendance à s'approcher de ces solutions, notamment grâce à leurs proximités apportées par les offres ADSL « *Triple Play* ». Les produits domotiques, souvent critiqués pour leur manque d'ouverture, tendent à se fédérer autour de normes et standards, avec néanmoins des disparités persistantes entre continents (Wacks 2002). Il existe à ce jour très peu de solutions pour les produits blancs.

La convergence entre ces 4 principales catégories est rendue difficile, pouvant s'expliquer par les différentes cultures entre les concepteurs et les différentes contraintes. Cependant, elle est nécessaire pour permettre le développement de services innovants. Ainsi dans le cadre de l'instrumentation de la plate-forme, nous avons privilégié une approche mixte, se basant sur les habitudes et technologies traditionnelles du domaine, tout en laissant la possibilité de dynamisme (ajout, retrait, remplacement d'objets communicants). Nous n'avons pas souhaité développer nos propres capteurs et actionneurs pour des raisons de savoir-faire d'une part (certains objets embarquant une forte connaissance experte), et de sécurité d'autre part, certains mécanismes mettant en œuvre des niveaux de puissance électrique non négligeables. Le meilleur garant de pérennité pour discriminer les nombreuses solutions disponibles sur le marché est la normalisation.

C'est pourquoi Domus a été équipée au fil des projets avec les technologies suivantes :

– KNX pour les réseaux domotique (éclairage, volets roulants, capteurs température, luminosité…)

– X2D pour des détecteurs d'ouverture sans fil (portes, fenêtres et placards)

– UPnP/DLNA pour les loisirs numériques (téléviseur, diffusion sonore type multizones)

– RFID pour les interactions tangibles

– DMX512 pour l'éclairage d'ambiance

– ZigBee « Green Power » pour des mesures énergétiques localisées.

La Figure 4 illustre la diversité des technologies et des services présents à Domus. L'intégration de cette hétérogénéité de technologies est une problématique

de recherche actuelle, dans les thématiques liées de l'interopérabilité et des passerelles de services. Des travaux pertinents de ce domaine (Edwards *et al.* 2001; Pellegrino *et al.* 2006; Nain *et al.* 2009), mettent en évidence l'importance du langage pivot au cœur de ces passerelles. Nous avons proposé (Gallissot *et al.* 2012) une approche centrée objet, permettant en plus de l'interopérabilité sémantique une interopérabilité comportementale entre chaque entité, quelque soit sa technologie.

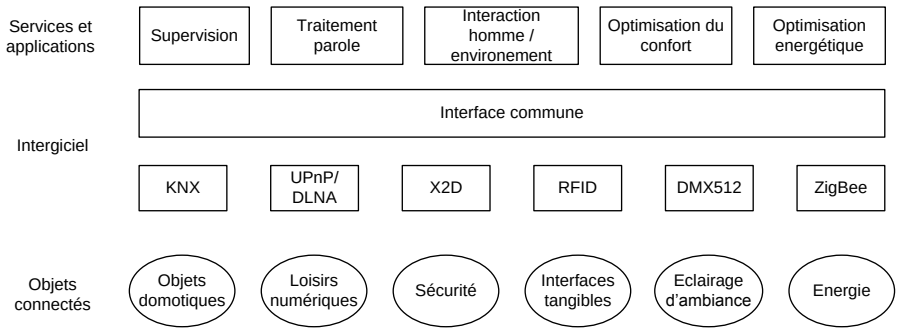

Figure 4. *Architecture logicielle de l'appartement intelligent*

Une implantation complète des capteurs installés à ce jour a été publiée (Gallissot *et al.* 2011), et une représentation schématique partielle est présentée en Figure 2 ci-dessus.

4.4. *Instrumentation d'observation*

L'observation de l'activité des occupants de l'appartement repose sur deux approches différentes.

En premier lieu, l'appartement dispose d'un système « classique » d'observation basé sur six caméras IP haute résolution avec microphones intégrés. Situées au plafond, pour plus de discrétion, ces caméras permettent d'observer l'activité des occupants (Figure 5). Elles sont utilisées principalement lors des phases de mise au point et lors des expérimentations de courte durée. Elles permettent également d'avoir un retour audio-vidéo lors des expérimentations utilisant la technique du Magicien d'Oz. Pour préserver la vie privée des habitants, les caméras ne sont pas utilisées lors des expérimentations de longue durée incluant une nuit. Un système permet de les couper électriquement via un interrupteur général avec voyant de contrôle visible par le sujet. De plus, nous n'avons pas installé de caméra dans la salle de bain, et les angles de prise de vue des autres caméras ne permettent pas

d'observer cette partie de l'appartement. Une régie de contrôle numérique permet de gérer les caméras et les enregistrements.

En second lieu, un système de traces numériques permet de capturer l'ensemble des événements induits par les commandes des systèmes de l'appartement, qu'ils aient pour origine les actions de l'utilisateur (par exemple : l'action sur un bouton), ou les décisions des systèmes intégrés à l'appartement (par exemple : le changement d'ambiance lumineuse à l'initiative du contrôleur de confort). Tous ces événements, représentant l'évolution de l'état de l'appartement, sont capturés. Ce système de traces se base sur l'architecture logicielle d'interopérabilité de l'appartement décrite ci-dessus (paragraphe 4.3). En conséquence, l'ajout d'un dispositif à l'appartement implique nécessairement que les traces associées à celui-ci seront automatiquement capturées. Ce système de traces est à la base des travaux en cours sur l'analyse de l'activité.

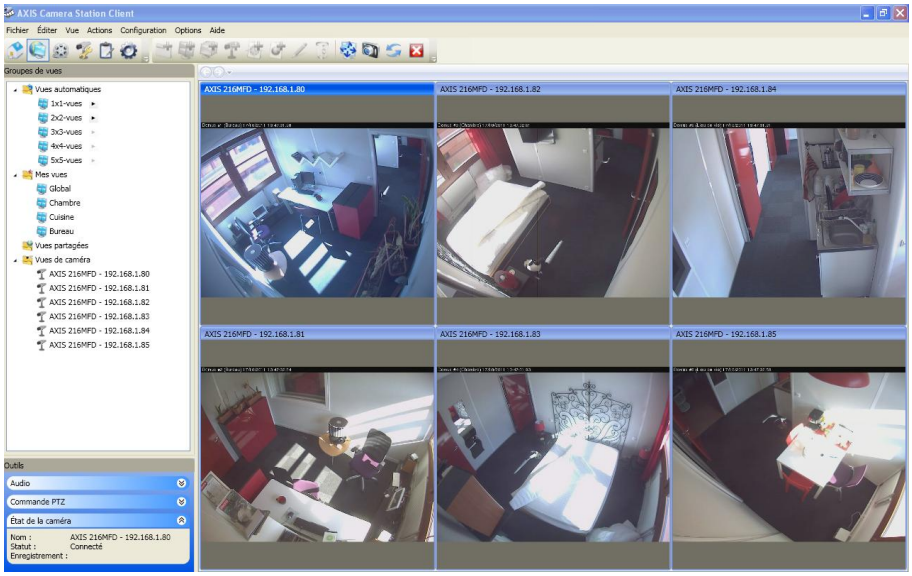

Figure 5. *Système de contrôle des caméras de l'appartement intelligent*

5. Exemples de mise en œuvre de la plate-forme Domus

L'appartement Domus, grâce à sa généricité, a permis de réaliser un nombre significatif d'expérimentations orientées usages, dans des domaines aussi variés que les nouvelles formes d'interaction, le confort, le maintien à domicile ou la gestion de l'énergie. Nous en donnons ci-dessous quelques exemples.

5.1. *Nouvelles formes d'interactions avec l'habitant*

L'une des problématiques de l'habitat intelligent est l'interaction homme/environnement. Certains travaux (Colburn *et al.* 1987; Bruant 1998) montrent que la possibilité d'exercer un contrôle sur son environnement est un élément important du bien-être perçu par les utilisateurs. Ces effets d'interactions peuvent être riches en utilisation, comme le rapporte un article[9] du Wall Street Journal expliquant que la plupart des thermostats dans les bureaux ne sont que des placebos, ne servant qu'à réduire le nombre de plaintes des utilisateurs concernant leur environnement thermique.

Cependant, l'intelligence ambiante apporte une problématique nouvelle : la multiplication des objets intelligents disponibles pour un environnement donné implique celle des interfaces de contrôle. Cette multiplication a pour conséquence néfaste de créer une sorte « d'effet cockpit ». En effet, l'intégration traditionnelle voudrait que pour chaque objet, l'habitant dispose d'un contrôle spécifique. Par exemple, pour chaque lampe d'une pièce, un interrupteur dédié est disponible à chaque entrée de la pièce. Ce type de conception, qui est la norme actuellement lorsque la pièce ne comporte qu'une ou deux lampes, s'avère irréaliste lorsque chauffage, ventilation, luminaires et ouvrants sont contrôlables. L'approche domotique classique propose alors de grouper ces lampes en une zone, permettant ainsi l'utilisation d'un seul interrupteur, mais au détriment de réglages avancés. On se retrouve alors avec un dilemme entre des contrôles avancés et une interface complexe.

L'appartement Domus, par son architecture domotique classique, est soumis à ces problèmes d'interactions au même titre que tous les bâtiments intelligents. Avec une difficulté supplémentaire apportée par sa dimension expérimentale : le nombre d'objets connectés est supérieur à la moyenne, tout comme leur diversité. Cette problématique nous a poussés à développer de nouvelles interfaces, utilisant des paradigmes et technologies issues du domaine des nouveaux modes d'interaction homme-machine. Par exemple, nous avons réalisé des interfaces tangibles (Ishii *et al.* 1997), utilisant des objets du quotidien comme interacteurs. Ainsi, l'appartement a été équipé de lecteurs RFID sur des surfaces d'interactions (par exemple : les tables de chevet). Elles permettent à des objets choisis sur des critères d'affordance (Gibson 1979; Norman 1999) et étiquetés au moyen d'une étiquette RFID, de déclencher une action précise, suite à un événement (arrivée, maintient, départ) pour laquelle ils ont été configurés.

Par exemple, nous avons adapté ce principe au contrôle de l'éclairage dynamique, en intégrant des travaux précédents sur les interfaces tangibles (Kubicki *et al.* 2011). Cela nous a permis de prototyper une application de contrôle appelée

---

[9] http://online.wsj.com/article/SB10425776285914013 04.html

TangiLight[10] (Gallissot *et al.* 2010). Cette application permet aux utilisateurs de produire en temps réel des ambiances lumineuses colorées, avec une échelle de temps. L'appartement Domus, grâce à son système d'interopérabilité, a permis un prototypage rapide (quelques jours) de ce système, qui a été complètement intégré à l'équipement de l'appartement.

Nous travaillons actuellement sur de nouvelles formes d'interaction, via des technologies sans contact, utilisant la dématérialisation et l'ubiquité des interfaces dans le domaine de l'internet des choses (Gershenfeld *et al.* 2004).

5.2. *Confort et bien être*

Dans les années 70, les crises pétrolières ont amené des problématiques éco-énergétiques, marquant le début des outils de régulation technique du bâtiment. L'optimisation du confort, thermique en particulier, est, depuis, un domaine de recherche, marqué en partie par les travaux de Fanger (Fanger 1973). Cependant, les méthodes de confort optimales nécessitent une instrumentation lourde et spécifique du bâtiment (comme par exemple l'emploi de sondes de température type « globe noir »). L'intelligence ambiante apporte une nouvelle dimension dans ce cadre de recherche : l'ubiquité. La densité croissante de capteurs nous permet de collecter plus d'informations, non seulement sur l'environnement mais également sur l'utilisateur et son comportement, définissant ainsi une nouvelle approche du confort : le confort adaptatif (Humphreys *et al.* 1998; Mozer 1999; Mozer 2005).

La plupart des travaux se focalisant sur le confort thermique, nous nous sommes intéressés au confort multi-sensoriel. Celui-ci permet d'une part de prendre en compte l'ensemble des paramètres qui agrémentent un environnement (l'air, le son, la vue) mais permet également de nous intéresser aux effets sensoriels croisés que peuvent induire ces modalités sur l'occupant. Par exemple, la température d'éclairage (éclairage rouge/chaud, éclairage bleu/froid) a une incidence sur la perception thermique. Des expériences ont en effet démontré l'approche pratique (Candas *et al.* 2005) et l'approche théorique (Ernst *et al.* 2002; Hospedales *et al.* 2009; Angelaki *et al.* 2009) de ces effets multi-sensoriels.

L'appartement Domus a été utilisé pour une étude sur le confort multi-sensoriel. Pendant cette étude, les effecteurs de l'appartement ont permis de modifier l'environnement en changeant les paramètres d'ambiance pendant que des sujets étaient occupés à réaliser une tâche de la vie quotidienne. Le jugement de ces sujets concernant le confort perçu a été recueilli au cours de l'expérimentation (Gallissot *et al.* 2011). Celui-ci, couplé aux données obtenues grâce à l'intégration des différents types de capteurs dans le système de traces, a permis de participer à la définition d'un « confortmètre ». A terme, cet outil doit permettre, pour un environnement et un occupant donné, de comprendre les sources d'inconfort, et de les corriger.

---

[10] Une vidéo est disponible http://www.youtube.com/watch?v=y4CT1w1ljGA

5.3. *Maintien à domicile*

Le maintien à domicile est une problématique de recherche récurrente, qui a été souvent décrite comme un des catalyseurs possibles du marché de la domotique (Haddon 1996). Les enjeux sont importants du fait du vieillissement de la population. Cette problématique se décline en fonction du type et du degré de pathologie de l'habitant. Les technologies à intégrer sont diverses (reconnaissances d'activité, détection de chutes, etc.), faisant appel à l'intelligence ambiante. L'appartement Domus a été utilisé dans le cadre de trois projets de cette thématique. L'intérêt de Domus dans ce cadre est qu'il permet de disposer d'un lieu d'expérimentation réaliste où les personnes âgées peuvent identifier un lieu de vie. De plus, Domus dispose d'un équipement d'instrumentation permettant une analyse complète de l'activité des sujets sur des périodes de temps allant jusqu'à quelques heures.

Le projet ANR CASPER[11] est un projet visant à concevoir des produits innovants dans le maintien à domicile, en particulier visant à développer des outils de détection d'activité (Brdiczka *et al.* 2009). La plate-forme Domus a servi de cadre à la validation du système de détection d'activités de personnes qui a été réalisé par l'équipe PRIMA du LIG. Environ 20 sujets, âgés de 60 à 85 ans, ont effectué une expérimentation (par paires) consistant à vivre pendant 3 heures dans l'appartement, avec une liste de tâches à accomplir (se préparer et manger un petit déjeuner, se reposer, remplir un questionnaire, plier et ranger du linge, etc.).

Le but du projet de recherche Sweet-Home[12] (Vacher *et al.* 2011) est d'optimiser l'usage de la parole et des sons dans un système domotique, favorisant ainsi l'interaction naturelle avec un tel système, dans un contexte de maintien à domicile. L'appartement Domus a été utilisé dans le cadre des expérimentations de ce projet. Pour cela, en plus des capteurs déjà implantés, il a été équipé de microphones spécifiques qui ont permis la création de corpus de données sonores.

Le projet AtHome est un projet industriel labellisé par le pôle LSI des instituts Carnot. Il consiste à étudier et développer un système de guidage lumineux dans un lieu de résidence pour des personnes atteintes de déficiences mentales. Dans le cadre de ce projet, l'appartement Domus a servi de prototype. Une grille de capteurs de pression a été intégrée dans le lit de l'appartement et instrumenté, de manière à pouvoir détecter de la façon la plus certaine possible, l'entrée, la présence ou le lever d'une personne. Cette détection est ensuite utilisée, en utilisant les informations de contexte, pour guider l'occupant à travers l'éclairage d'ambiance.

---

[11] http://www-prima.imag.fr/casper

[12] http://sweet-home.imag.fr

5.4. *Gestion de l'énergie*

Dans le domaine des économies d'énergie, il est essentiel de mettre l'utilisateur « dans la boucle » car, sans son implication, toutes les tentatives de réguler l'énergie seront vaines. Dans ce contexte, le projet ReActivHome[13] a pour but de réaliser un système, dont les boucles de contrôle sont quasiment entièrement automatisées, mais qui reste néanmoins sous le contrôle de l'utilisateur. Celui-ci peut en effet configurer ses préférences, être informé à sa demande sur sa consommation, et même si besoin, prendre la main sur le système. En amont du projet, des séances de conception participative ont permis de dégager les fonctionnalités et les interfaces homme-machine (tablettes, tangibles, ou smartphones) les plus adaptées à chaque situation (en présentiel ou en mobilité) et à chaque fonction.

Afin d'en valider l'usage, des démonstrateurs ont ensuite été développés et mis en œuvre sur la plate-forme Domus. La plate-forme fut spécifiquement équipée de plusieurs capteurs d'énergie expérimentaux se basant sur des réseaux de capteurs nouvelle génération (ZigBee Green Power), permettant ainsi d'obtenir une « Home MicroGrid » (empreinte énergétique de chaque objet consommateur). L'ensemble des données de cette « Home MicroGrid » a ensuite été traité puis présenté aux habitants qui ont pu non seulement observer leur consommation, mais aussi la comprendre.

6. Exemple de déroulement d'une expérimentation

Afin d'illustrer le fonctionnement de la plate-forme ainsi que de ces outils, nous décrivons ci-dessous le déroulement d'une expérimentation typique mettant en œuvre la plate-forme Domus.

L'expérimentation en question a servi à la construction d'un corpus de données dans le cadre de la modélisation du confort, dont nous avons détaillé les problématiques et notre approche dans le paragraphe 5.2. Pour cette expérimentation, 20 sujets ont été sollicités afin de juger les ambiances auxquelles ils étaient soumis par l'expérimentateur au sein de l'appartement. Ces ambiances variaient sous l'effet de facteurs naturels (liés à l'environnement extérieur) ou de facteurs artificiels, comme la température d'éclairage, la luminosité, le fond sonore, etc. Le jugement des sujets portait sur leur perception du confort, ainsi que sur leur perception d'indicateurs liés au confort (température, humidité, etc.).

Cette expérimentation a nécessité une instrumentation spécifique. En effet, l'expérimentateur devait disposer d'une interface permettant le suivi et le contrôle de l'appartement afin de gérer les modifications de l'environnement via la technique du Magicien d' Oz. De l'autre côté, l'habitant devait disposer d'une interface, utilisable en mobilité, lui permettant de donner son jugement sur le confort perçu (Figure 6).

---

[13] https://reactivhome.rd.francetelecom.com

Le corpus final a rassemblé les données issues de ces deux dispositifs et celles liées à l'environnement de l'appartement (état des effecteurs, valeurs des capteurs), couplant ainsi des données objectives et subjectives.

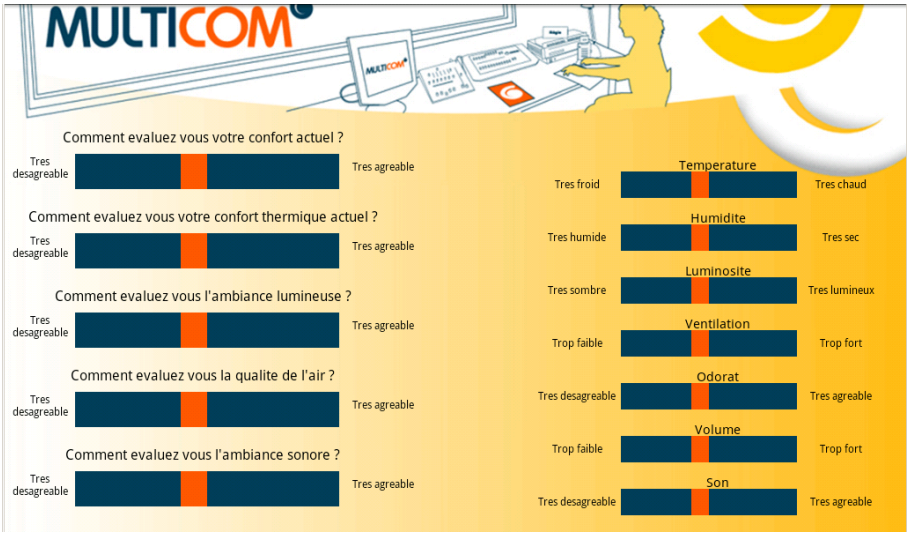

Figure 6. *Questionnaire de jugement d'environnement utilisé dans le cadre de l'optimisation du confort*

La disposition des pièces de l'appartement Domus a permis de réaliser cette expérimentation dans un cadre réaliste de gestion du confort d'un appartement. En outre, l'instrumentation d'observation, décrite dans le paragraphe 4.4, a permis à l'expérimentateur de visualiser et annoter l'activité de l'habitant pendant l'expérimentation (changement de vêture, changement de pièce, changement d'activité, etc.). De plus, grâce au système d'interopérabilité, l'expérimentateur pouvait également déporter l'interface de l'habitant pour observer en temps réel ses actions.

Le système d'interopérabilité décrit dans le paragraphe 4.3 a servi de nœud central à l'ensemble des interfaces nécessaires à cette expérimentation. En effet, grâce à ses interfaces de programmation permettant la lecture des données et l'envoi de commandes en temps réel, il a permis de développer les deux interfaces expérimentateur et habitant, et d'en inclure les données dans la base correspondant à l'expérience, sous forme de capteur virtuel. Les données disposaient ainsi d'un format commun et d'une base de temps commune, facilitant dès lors les traitements post-expérimentation. Le développement de ces interfaces s'est appuyé sur des outils

existants, comme OpenRemote[14], réduisant ainsi le temps de développement. Cela a été rendu possible par le degré d'abstraction fourni par ce système d'interopérabilité.

7. Retour d'expérience sur les limites de la plate-forme Domus

L'utilisation de la plate-forme Domus se heurte à quelques limitations dont les causes sont principalement dues à son bâtiment d'accueil.

Afin de préserver l'intégrité du bâti, il n'a pas été possible d'avoir une évacuation d'eaux usées, ce qui implique que l'appartement n'a pas de toilettes. L'évacuation des eaux utilise le réseau des eaux pluviales. En conséquence, l'utilisation de produits de nature chimique est prohibée au sein de l'appartement. De plus, le bâtiment dans lequel est installé la plate-forme expérimentale étant labellisé « Haute Qualité Environnementale », les pare-soleils extérieurs n'ont pas pu être remplacés par des stores vénitiens, plus courants pour les applications de sun-tracking par exemple. Enfin, la politique de gestion thermique du bâtiment exclut toute gestion individualisée, ou par zones. Il n'est donc pas possible d'intégrer une gestion thermique dédiée de l'appartement, qui souffre des malfaçons à l'échelle du bâtiment (en particulier la non-mise en service du système de réfrigération « free cooling » pour les périodes chaudes).

En plus des limitations liées à la construction et à l'aménagement, les expérimentations menées sur la plateforme ont été rendues difficile du fait du contrôle d'accès sécurisé. Le bâtiment d'accueil nécessite en effet un accès par badges personnels et une télésurveillance surveille la présence d'individus sur les périodes nocturnes, et déclenche une alarme dès lors qu'une présence est constatée. Pour les besoins des expérimentations nécessitant que le sujet dorme dans l'appartement, ces contraintes de sécurité ont dues être temporairement modifiées. Cependant, il a été difficile pour le prestataire de services en charge de l'alarme du bâtiment de mettre en œuvre efficacement un système d'inhibition d'alarme adapté à nos besoins. Il est ainsi arrivé que l'alarme d'intrusion soit déclenchée par un sujet lors d'une expérimentation comprenant une nuit dans Domus.

Comme nous l'avons indiqué, nous avons souhaité une plate-forme d'expérimentation adaptable. Cette caractéristique de l'appartement Domus permet au personnel permanent et temporaire de notre équipe, mais également d'équipes partenaires, de venir y faire les expérimentations nécessaires à leurs travaux de recherche. Au fil de la conduite des projets, les différents intervenants, bien qu'appréciant ce mode de fonctionnement, ont noté un manque de référentiel technique commun. Afin de répondre à ce besoin, nous avons mis en place une démarche qualité et une documentation complétée « au jour le jour » sous forme d'un cahier de laboratoire national[15] dédié à l'appartement. De plus, cette vocation

---

[14] http://www.openremote.org

[15] http://www.cnrs.fr/infoslabos/cahier-laboratoire/

d'espace adaptable nécessite la gestion de plusieurs « versions » simultanées de l'appartement. En effet, l'appartement servant à la fois de vitrine technologique, de support d'expérimentation et de lieu de travail, l'ensemble technologique se doit de garantir une cohérence de « service minimum ». En ce sens, le système d'interopérabilité s'est révélé un atout majeur pour garantir le passage d'une configuration à une autre en quelques minutes seulement. Enfin, les systèmes techniques (capteurs, effecteurs, etc.) doivent également être modifiés régulièrement pour adapter l'équipement aux besoins des expérimentations. Cela implique un outillage et des qualifications adaptés. En particulier, les travaux de nature électriques étant cadrés normativement et légiférés (AFNOR 2010), des formations et habilitations d'une partie du personnel ont été nécessaires.

8. Conclusion

Nous avons montré la pertinence de la plate-forme DOMUS se présente sous plusieurs aspects. Du point de vue des usages, Domus a permis de tester l'acceptabilité, l'ergonomie, les pratiques, les activités de systèmes innovants pour l'habitat intelligent. Du point de vue de la généricité, la plate-forme a permis de travailler sur des sujets majeurs dans la thématique, mais aussi de dégager de nouvelles problématiques, ou d'aborder des problématiques existantes sous un nouvel angle. En trois ans d'activité, nous avons ainsi travaillé sur trois projets majeurs (SweetHome, CASPER, ReactivHome) pour le maintien de personnes dépendantes à domicile, la surveillance automatique de locaux et les économies d'énergie. Du point de vue de la conception et du développement de nouvelles technologies, plusieurs maquettes expérimentales sur l'interaction homme/environnement (TangiLight, RFID) ont pu être conçues et développées dans le contexte concret et réaliste de l'habitat, montrant ainsi que Domus est un banc de test performant et fiable.

La plateforme Domus est un instrument de recherche en constante évolution. Ainsi, nous envisageons les perspectives concernant sa mise en œuvre selon trois axes. Tout d'abord, nous souhaitons améliorer l'efficience des opérations de maintenance qui restent encore aujourd'hui trop lourdes. Il est en effet encore assez difficile d'intégrer de nouveaux capteurs ou de nouveaux effecteurs car cette installation rencontre des problèmes de compatibilité ou d'interdépendance entre capteurs. Puis, nous souhaitons intégrer la plateforme comme un nœud de Living Labs afin de bénéficier de toutes les synergies apportées par les différents acteurs et disposer d'un plus grand nombre de sujets. Enfin, nous souhaitons approfondir le domaine théorique de la reconnaissance automatique d'activités, de la fusion de capteurs et de la fouille de données, pour adapter les technologies aux activités des habitants. La voie des modèles stochastiques, notamment, semble très prometteuse d'autant que la constitution de vastes corpus que permet la plateforme est un atout favorable pour conduire des campagnes d'acquisition de données.

9. Références

AFNOR, 2010.*Réglementation des installations électriques en basse tension en France* [en ligne]. 2010

Angelaki, D.E., Gu, Y. & DeAngelis, G.C., 2009. Multisensory integration: psychophysics, neurophysiology, and computation. *Current Opinion in Neurobiology*, 19(4), pp.452-458.

Bonino, D. & Corno, F., 2011. What would you ask to your home if it were intelligent? Exploring user expectations about next-generation homes. *J. Ambient Intell. Smart Environ.*, 3(2), pp.111-126.

Branly, É., 1905. Appareil de Télémécanique sans fil de ligne.

Brdiczka, O., Langet, M., Maisonnasse, J. & Crowley, J.L., 2009. Detecting Human Behavior Models From Multimodal Observation in a Smart Home. *Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on*, 6(4), pp.588-597.

Bruant, M., 1998. *Développement et paramétrage de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance*.

Brun, P. & Décamps, E.A., 1988. *La domotique*, Presses universitaires de France.

Caelen, J., 1999. La plate-forme MultiCom : un laboratoire d'usage et d'utilisabilité. In *Interfaces Homme Machine*. Cépaduès Ed., pp. 69-75.

Caelen, J., Jambon, F. & Vidal, A., 2005. Conception participative : des "Moments" à leur instrumentation. *Revue d'Interaction Homme-Machine (RIHM)*, 6(2), pp.1-29.

Cancellieri, A., 1992. *L'habitat du futur: défis et prospective pour le prochain quart de siècle*, Documentation française.

Candas, V. & Dufour, A., 2005. Thermal Comfort: Multisensory Interactions? *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science*, 24(1), pp.33-36.

Clanché, F., Kabadi, M.G. & Hamelin, F., 2011. Plate-forme pour l'optimisation énergétique des habitats intelligents. In *Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes, CETSIS'2011*. Trois-Rivières, Canada, p. CDROM.

Colburn, B.K. & Harmon, K.S.J., 1987. Thermal comfort dynamics: an advanced control strategy. *Energy engineering*, 84(4), pp.30-52.

Cook, D.J., Youngblood, M., Heierman E.O., I.I.I., Gopalratnam, K., Rao, S., Litvin, A. & Khawaja, F., 2003. MavHome: an agent-based smart home. In *Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on*. pp. 521-524.

Edwards, W.K. & Grinter, R.E., 2001. At Home with Ubiquitous Computing: Seven Challenges. In *Proceedings of the 3rd international conference on Ubiquitous Computing*. London, UK, UK: Springer-Verlag, pp. 256-272.

Ekambi-Schmidt, J., 1972. *La perception de l'habitat*, Editions Universitaires.

Ernst, M.O. & Banks, M.S., 2002. Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, 415(6870), pp.429-433.

Fanger, P.O., 1973. Assessment of thermal comfort practice. *Occupational and Environmental Medicine*, 30(August 2009), pp.313-324.

Gallissot, M. & Jambon, F., 2012. Proposition et mise en œuvre d'un modèle d'interopérabilité des réseaux du bâtiment intelligent. *Ingénierie des Systèmes d'Information*, p.à paraître.

Gallissot, M., Arfib, D. & Valls, V., 2010. TangiLight: a tangible interface for complex dynamic lighting control. In *Proceedings of KNX 2010 Scientific Conference*. Pampelona, Spain: KNX Association.

Gallissot, M., Caelen, J., Bonnefond, N., Meillon, B. & Pons, S., 2011. Using the Multicom Domus Dataset. *Les rapports de recherche du LIG*, RR-LIG-020.

Gershenfeld, N., Krikorian, R. & Cohen, D., 2004. The Internet of things. *Scientific American*, 291(4), pp.76-81.

Gibson, J.J., 1979. *The Ecological Approach To Visual Perception* New editio., Psychology Press.

Giroux, S. & Pigot, H., 2005. *From smart homes to smart care: ICOST 2005, 3rd International Conference on Smart Homes and Health Telematics*, IOS Press.

Haddon, L., 1996. Home Automation: Research Issues. In M. Silverstone, R. and Hartmann, ed. *The Smart Home: Research Perspectives*.

Hospedales, T. & Vijayakumar, S., 2009. Multisensory oddity detection as bayesian inference. *PloS one*, 4(1), p.e4205.

Humphreys, M.A. & Nicol, J.F., 1998. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE transactions Symposia*, 104(1b), pp.991-1004.

Intille, S., Larson, K., Tapia, E., Beaudin, J., Kaushik, P., Nawyn, J. & Rockinson, R., 2006. Using a Live-In Laboratory for Ubiquitous Computing Research. In K. Fishkin, B. Schiele, P. Nixon, & A. Quigley, eds. *Pervasive Computing*. Springer Berlin / Heidelberg, pp. 349-365.

Ishii, H. & Ullmer, B., 1997. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM, pp. 234-241.

Jambon, F., Mandran, N., Meillon, B. & Perrot, C., 2010. Evaluation des systèmes mobiles et ubiquitaires : proposition de méthodologie et retours d'expérience. *Journal d'Interaction Personne Système (JIPS)*, 1(1), pp.1-34.

Jambon, F., Meillon, B., Perrot, C. & Caelen, J., 2010. Plateforme d'utilisabilité/usage MultiCom : objectifs, réalisation, usages et retours d'expérience. In *Conférence francophone sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée (Ergo'IA 2010)*. Biarritz, France, pp. 109-116.

Kidd, C. *et al.*, 1999. The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research. In N. Streitz, J. Siegel, V. Hartkopf, & S. Konomi, eds. *Cooperative Buildings. Integrating Information, Organizations, and Architecture*. Springer Berlin / Heidelberg, pp. 191-198.

Kientz, J.A., Patel, S.N., Jones, B., Price, E., Mynatt, E.D. & Abowd, G.D., 2008. The Georgia Tech aware home. In *CHI '08 extended abstracts on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM, pp. 3675-3680.

Kubicki, S., Lepreux, S. & Kolski, C., 2011. RFID-driven situation awareness on TangiSense, a table interacting with tangible objects. *Personal and Ubiquitous Computing*, pp.1-16.

Lefebvre, H., 1997. *La domotique : le rôle des réseaux dans un processus d'innovation interactive*. Université des Sciences économiques de Grenoble.

Magnien, M., 1980. Du rêve à la rigueur: la maison électrique de Georgia Knapp (1913). *Machines au foyer*, (3), pp.191-197.

Mozer, M.C., 1999. An Intelligent Environment Must Be Adaptive. *Intelligent Systems and their Applications, IEEE*, 14(2), pp.11-13.

Mozer, M.C., 2005. Lessons from an Adaptive Home. *Smart Environments*, pp.271-294.

Mozer, M.C., 1998. The Neural Network House: An Environment that Adapts to its Inhabitants. In M. Coen, ed. *Proc AAAI Spring Symp Intelligent Environments*. AAAI Press, pp. 110-114.

Nain, G., Barais, O., Fleurquin, R. & Jézéquel, J.-M., 2009. EntiMid: un middleware aux services de la maison. In *3ème Conférence Francophone sur les Architectures Logicielles (CAL'O9)*. Nancy, France.

Norman, D.A., 1999. Affordance, conventions, and design. *interactions*, 6(3), pp.38-43.

Nourizadeh, S., Song, Y.-Q., Thomesse, J.-P. & Sepulchre, X., 2009. Un système de télémédecine pour les seniors. In *1er congrès de la Société Française des Technologies pour l'Autonomie et de Gérontechnologie - SFTAG09*. Troyes, France.

Pellegrino, P., Bonino, D. & Corno, F., 2006. Domotic house gateway. In *Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied computing*. New York, NY, USA: ACM, pp. 1915-1920.

Robert-Houdin, J.E., 1867. *Le Prieuré: organisations mystérieuses pour le confort et l'agrément d'une demeure*, Michel Lévy frères.

Sabbah, C., 2010. Dans ma maison branchée. In *Ambiances chez soi: L'air, le son, la lumière*. Editions Autrement, pp. 60-63.

Sakamura, K., 1990. The TRON Intelligent House. *IEEE Micro*, 10, pp.6-7.

Sarrat, P., 1989. Le projet Français habitat intelligent / domotique. In *HANDITEC*. pp. 1-9.

Thomesse, J.-P. *et al.*, 2001. Integrated Information Technologies For Patients Remote Follow-Up And Homecare. In *In HealthCom 2001*.

Vacher, M. *et al.*, 2011. The SWEET-HOME Project: Audio Technology in Smart Homes to improve Well-being and Reliance. In *33th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'11)*. Boston, USA.

Wacks, K., 2002. Home systems standards: achievements and challenges. *Communications Magazine, IEEE*, 40(4), pp.152-159.

Zimmermann, H., 1980. OSI Reference Model--The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection. *Communications, IEEE Transactions on*, 28(4), pp.425-432.