



HAL
open science

Quand la Machine devient Bâtiment: Quelle place en IHM pour l'Interaction Homme-Bâtiment?

Julien Nembrini, Denis Lalanne

► **To cite this version:**

Julien Nembrini, Denis Lalanne. Quand la Machine devient Bâtiment: Quelle place en IHM pour l'Interaction Homme-Bâtiment?. 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Oct 2016, Fribourg, Suisse. pp.20-33. hal-01386435

HAL Id: hal-01386435

<https://hal.science/hal-01386435>

Submitted on 24 Oct 2016

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.

Quand la Machine devient Bâtiment: Quelle place en IHM pour l'Interaction Homme-Bâtiment?

Julien Nembrini

Human-IST
Université de Fribourg
CH-1700, Fribourg, Suisse
julien.nembrini@unifr.ch

Denis Lalanne

Human-IST
Université de Fribourg
CH-1700, Fribourg, Suisse
denis.lalanne@unifr.ch

Résumé

Cet article propose l'observation de l'interaction Homme-Bâtiment comme un nouveau domaine de recherche en IHM. Celui-ci s'intéresse à l'étude des interactions humaines à l'intérieur des bâtiments, ainsi qu'au développement et à l'évaluation de technologies interactives pour encourager la collaboration utilisateurs-bâtiment améliorant le confort, l'efficacité énergétique ou le changement de comportement. Cet article décrit les contours de ce domaine, en esquisse une taxonomie et donne une série d'exemples issus de notre activité de recherche au sein du projet smartlivinglab.

Mots Clés

Interaction homme-bâtiment; automation du bâtiment; Smart Home; architecture interactive.

Abstract

This article proposes the study of Human Building interactions as a new research domain. This topic aims at studying human interactions within buildings, as well as developing and evaluating interactive technologies that fosters user-building collaboration towards improving comfort, energy efficiency or behaviour change. The article outlines the domain, proposes a taxonomy of it and gives a series of examples from our research activity within the smartlivinglab project.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author.
Copyright is held by the owner/author(s).
IHM '16, October 25–28, 2016, Fribourg, Switzerland.

Introduction

L'IHM s'est souvent intéressée à des contextes liés à l'environnement bâti [6], tant dans l'habitat [5] que dans les situations professionnelles [10, 13]. Souvent considérée comme un invariant, la substance du bâti joue pourtant par ses affordances un rôle non-négligeable dans ces contextes. Le présent article propose d'élargir le cadre en considérant le bâtiment augmenté de technologies digitales comme un objet interactif, proposant en cela l'étude de l'Interaction Homme-Bâtiment (IHB) [1].

Le thème de l'IHB peut être abordé sous différents angles. Une première approche serait de considérer les progrès récents des différentes techniques et leurs disponibilités à moindre prix comme augurant de changements profonds à venir et présentant par là-même un champ de recherche important pour la communauté IHM. Une autre approche serait de faire ressortir la particularité de ce contexte interactif dans lequel les utilisateurs sont physiquement immergés, subissant les conséquences de leurs interactions de manière multi-sensorielle, pouvant aller jusqu'à créer leur propre inconfort.

En plus de ces considérations, cet article se propose d'insister sur le contexte actuel constitué par l'installation de plus en plus fréquente de systèmes de senseurs et d'automatisation du bâtiment. Installés pour des motivations d'ordre d'efficacité énergétique, ces systèmes sont issus d'un développement centré sur le contrôle des installations techniques et leur optimisation fonctionnelle. Les normes de consommation énergétique jouent dans ce contexte un rôle non négligeable en abaissant les valeurs limites de manière continue depuis plusieurs années. Ces normes obligent à fournir une preuve quantitative de performance que l'inhérente incertitude et diversité du comportement des utilisateurs a rendu principalement technique.

Il en résulte une série d'expériences négatives des utilisateurs, devenues à présent presque des lieux communs de l'environnement de travail : des stores automatisés au comportement erratique aux yeux des utilisateurs, des environnements contrôlés à l'extrême créant un sentiment de subir le bâtiment, voire des symptômes de Sick Building Syndrome [8]. Cette approche se généralise à présent dans le contexte de l'habitat pour garantir la performances des nouveaux logements.

De fait, la digitalisation des bâtiments et leur constitution comme objets interactifs n'apparaît pas comme une affaire d'avenir, mais comme un fait du présent dont les implications se doivent d'être étudiées avec les méthodologies de prise en considération des utilisateurs.

Cartographie de l'IHB

Pour saisir les contours de l'IHB, nous procédons du général au particulier, proposant tout d'abord une cartographie des champs qui la composent, en insistant sur l'inclusion de la composante industrielle de l'environnement construit qui, selon nous, joue un rôle prépondérant pour juger de l'opportunité de certains axes de recherche.

La composante qui s'impose est celle incluant l'architecture et l'urbanisme. Cette composante peut être comprise en tant qu'objet physique existant ou à venir, mais aussi en tant que processus de conception. Elle englobe les enjeux multi-disciplinaires et complexes liés à la définition de l'environnement construit. Cette composante est par essence fortement connotée culturellement.

L'industrie du bâtiment et l'économie dans laquelle elle s'inscrit constituent la deuxième composante. Elle inclut par exemple la disponibilité des matériaux de construction, mais aussi les processus inhérents à la production du bâti, comme les normes et les lois. Cette composante est très

marquée par des différences régionales.

La troisième composante représente la disponibilité technologique et à moindre prix de capteurs, d'écrans, ainsi que la récente prolifération d'appareils personnels connectés. Cette dimension est englobée dans le concept d'informatique ubiquitaire, et l'avènement programmé de l'internet des objets (IoT) en fait partie. Du fait du processus de mondialisation particulièrement avancé pour le matériel informatique, cette composante est moins marquée par les différences régionales, sauf peut-être en termes de différence d'accès à l'internet.

La dernière composante représente justement la dimension IHM. Cette composante englobe la conception d'interfaces, leur développement et leur évaluation, mais aussi l'étude des comportements interactifs des utilisateurs avec les éléments architecturaux.

Une fois ces composantes définies, il devient possible de déterminer plus précisément ce que nous entendons par IHB : une définition large induit la conjonction d'au moins une des deux premières composantes (architecture/urbanisme ou industrie/économie) avec au moins une des deux suivantes (interaction ou ubiquitaire). Une définition forte demanderait une conjonction de toutes les composantes. Une telle définition, probablement trop restrictive, permet néanmoins de proposer une direction de développement des projets pour en élargir la portée et donc l'impact potentiel.

A présent, nous proposons une taxonomie de l'IHB, en commençant par la spécificité de l'IHB par rapport à d'autres contextes IHM. Par la suite, une énumération des dimensions régissant la relation utilisateur-bâtiment nous permet de proposer une liste de ses différentes modalités d'interaction.

Dimensions de l'IHB

Utilisateurs :

- le confort physiologique des utilisateurs
- leurs affects
- leur comportement
- leur compréhension/conscience de la dynamique du bâtiment

Bâtiment :

- la qualité architecturale
- l'utilisabilité du bâtiment
- l'efficacité énergétique
- la sphère privée

Spécificité de l'IHB

Par rapport à une conception standard de l'IHM où l'utilisateur entre en interaction avec la machine selon des modalités circonscrites et bien définies, l'interaction homme-bâtiment présente un ou des utilisateurs complètement immergés dans l'objet interactif. Le bâtiment contient l'utilisateur et influe potentiellement de multiples manières sur lui ou elle (voir figure 1). Conséquence importante : l'utilisateur n'est pas en mesure de mettre fin à la session interactive sans quitter l'espace. Symétriquement, les actions de l'utilisateur peuvent avoir un impact d'autant plus important du fait de cette immersion, pouvant induire des modifications physiologiques, voire même rendre l'espace interactif inhospitalier.

En plus de cet aspect immersif, les actions de l'utilisateur, de par le comportement physique d'un bâtiment, peuvent avoir des répercussions sur des échelles de temps différentes. Le fait d'ouvrir une fenêtre en plein après-midi d'été peut avoir un effet immédiat d'induire un courant d'air rafraîchissant, mais aussi faire entrer de la chaleur, avec des conséquences sur le confort des jours suivants. Dans le champ lexical de l'IHM, ce contexte interactif pourrait être vu comme une interface ambiante poussée à son extrémité [22], ou plus précisément à la conjonction des extrêmes d'une interface ambiante et d'une interface tangible.

Dimensions de l'IHB

Nous proposons ici une tentative d'énumération des dimensions qui régissent l'IHB, regroupées selon qu'elles concernent les utilisateurs ou le bâtiment lui-même (cf en marge).

confort physiologique Dans le contexte du bâtiment la notion de confort physiologique est omniprésente, fruit d'une évolution du courant hygiéniste du 19ème siècle ou-

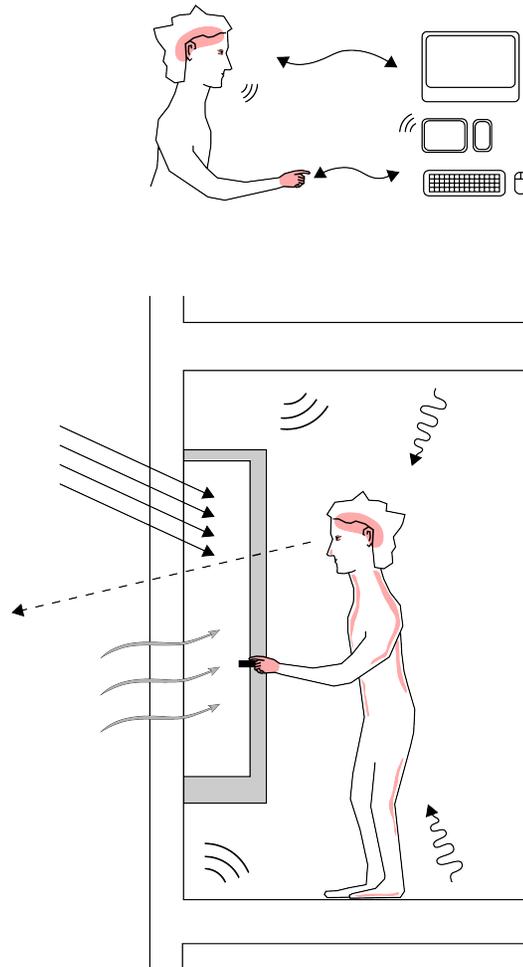


Figure 1: Spécificité de l'interaction homme-bâtiment (bas) en comparaison avec l'IHM standard (haut). Le feedback des interactions utilise potentiellement plusieurs canaux sensoriels : tactile, acoustique, visuel, radiatif, convectif ou olfactif

vrant pour la salubrité des bâtiments. Ici la distinction est faite entre le confort *objectif*, mesuré soit au niveau de l'environnement, soit au niveau de l'utilisateur ; dans le premier cas selon le modèle de Fanger, prédisant entre autres le pourcentage de mécontents (Predicted Percentage of Discontent PPD) en fonction de variables objectives telles que la température ou le taux d'humidité intérieurs, mais aussi l'habillement et l'activité des utilisateurs [9] ; et dans le deuxième cas par des mesures de température de peau, de sudation, etc. Finalement, le confort *subjectif* est celui qui est réellement ressenti par l'utilisateur. Étant donné les différences individuelles, de genre et culturelles entre utilisateurs [8, 16], une différence entre les différentes notions de confort peut se manifester. S'il devrait être évident pour la communauté IHM que le confort ressenti est celui qui importe, c'est pourtant presque uniquement le confort objectif environnemental qui est utilisé dans le processus de conception architecturale. Cette approche objective est efficace pour avancer dans le projet en s'affranchissant d'une variabilité des utilisateurs inconnue au moment du design, et surtout prompte à changer sur la durée de vie du bâtiment. En conséquence, ce modèle se retrouve appliqué dans toutes les phases du projet, dans des cultures et contextes climatiques très différents, ce qui participe d'une uniformisation globale de l'environnement intérieur.

affects des utilisateurs Par les affects de l'utilisateur, nous entendons les émotions et sentiments générés par ou en interaction avec l'environnement construit. Les exemples abondent, allant du bonheur ou du calme éprouvé face à une vue sur un paysage particulier, jusqu'à l'énervement causé par le comportement arbitraire et aliénant du contrôle automatique des stores. D'autres sont plus subtils, voire sujets à discussion, comme par exemple l'ennui ou le désenchantement générés par une architecture de basse qualité issue de la nécessité d'espaces bon marchés. Cet aspect

émotionnel joue un rôle non négligeable dans la perception des utilisateurs de leur environnement. Un bâtiment à l'architecture particulière peut représenter un aspect d'icône qui contribue à une identification et donne fierté d'en être l'utilisateur.

comportement des utilisateurs Nous entendons ici les pratiques consistant à interagir avec les différents éléments du bâtiment. Ces comportements font souvent partie de la culture et fonctionnent en symbiose avec l'architecture ; par exemple, la fermeture des fenêtres durant les journées chaudes en conjonction avec une architecture aux plafonds hauts et la pratique de la sieste dans les pays méditerranéens. Cette dimension est fondamentale pour le fonctionnement et la pérennité du bâtiment, des pratiques inadaptées pouvant le dégrader rapidement, être dispendieuses d'énergie ou diminuer le confort. La récente évolution de la notion du confort (espace uniformément chauffé, renouvellement d'air, éclairage électrique, etc.) en parallèle avec des besoins d'économie d'argent et d'énergie ont induit une automatisation de plus en plus grande, allant de la vanne thermostatique à l'éclairage déclenché par détection de mouvement. Pourtant, il a été démontré que l'impossibilité de pouvoir agir sur son environnement pour en adapter le confort induit une intolérance plus marquée à des conditions de confort non-standards [19]. Le fait seul de donner une possibilité d'interaction a donc des implications importantes en terme de confort subjectif. L'interaction entre les utilisateurs, ou plus généralement la dimension sociale de l'interaction avec le bâtiment est une composante importante. La dynamique sociale peut influencer significativement sur la perception individuelle de l'environnement bâti. De même, le bâtiment peut avoir une influence importante sur les relations entre les individus : une mauvaise acoustique peut par exemple avoir un impact sur la conduite et le résultat d'une réunion. L'IHM peut aussi prendre en compte

les différents acteurs du contexte du bâtiment : utilisateurs, concepteurs, propriétaires, personnes en charge des installations, etc.

conscience/compréhension de la dynamique du bâtiment

Par la conjonction de plusieurs échelles de temps, de l'influence des conditions extérieures, de la présence ou non d'utilisateurs et de la physicalité propre de ses éléments, le fonctionnement d'un bâtiment est complexe et dynamique. Nombres d'interactions servent d'ailleurs à contrer ou en atténuer les fluctuations. Pour avoir des pratiques adéquates, une certaine compréhension ou conscience de la dynamique du bâtiment est nécessaire [7]. Cette compréhension peut s'acquérir par transmission culturelle, par expérience ou encore par expérimentation directe avec le bâtiment. L'automatisation de certains éléments du bâtiment peut induire différents biais : le concept d'automatisation peut ne pas convenir au contexte culturel (par exemple l'habitude de laisser une fenêtre ouverte pendant les nuits d'hiver dans un bâtiment à haute performance énergétique dont le système de ventilation récupère la chaleur), peut induire l'utilisateur à acquérir une expérience de l'automatisation elle-même tendant à devenir rapidement obsolète, voire peut présenter des comportements irréguliers aux yeux de l'utilisateur-expérimentateur.

qualité architecturale Si la qualité d'une architecture est particulièrement difficile à définir, et dépend fortement de sa fonction et de son caractère culturel, un argument fait néanmoins l'unanimité : un bâtiment présente une certaine qualité si la société investit pour le préserver. Même si les raisons de conserver ou détruire un bâtiment tendent à changer, ceci correspond à un objectif de durabilité. De fait, les bâtiments qui durent sont ceux qui sont en mesure de s'adapter à l'évolution des fonctions et des utilisations.

utilisabilité du bâtiment La conception du bâtiment et des ses éléments modifiant sa dynamique peut par ses affordances induire des comportements spécifiques, tant vertueux que problématiques. Par son aspect non-définitif et manuel, elle peut induire un comportement d'interaction, voire d'expérimentation. Dans l'architecture habitative développée par le bureau Lacaton-Vassal, le confort dans une partie de l'espace exige la manipulation de rideaux thermiques [25]. Les habitants doivent donc entrer en interaction active pour profiter de l'espace et ont besoin d'une période d'adaptation après leur emménagement pour en appréhender le fonctionnement.

efficacité énergétique Préserver l'espace intérieur des fluctuations du climat ou évacuer la pollution issues des activités intérieures implique souvent une dépense énergétique pour chauffer, refroidir, éclairer ou ventiler. La prise de conscience que le parc immobilier est un gros consommateur énergétique représentant un important gisement d'économies [21] s'est accompagnée de contraintes d'efficacité de plus en plus strictes. Pour encourager les économies, des labels énergétiques¹ accompagnés de systèmes de subventionnement correspondants ont vu le jour. Dans un souci de résultats quantifiables, ce processus s'appuie sur une automatisation du bâtiment. Si le concept de Smart Home ne s'est pour l'instant pas imposé, les bâtiments économes en énergie ont intégré un niveau d'automatisation qui rend cette dimension particulièrement pertinente en terme d'interaction [18]. Par ailleurs, une des manières les plus directes d'économiser de l'énergie est de limiter la quantité d'espace par utilisateur. Une telle densification de l'espace a pour corollaire une intensification des interactions, donnant une raison supplémentaire pour la communauté IHM de s'y intéresser.

Modalités de l'IHB

- structure construite
- aménagement intérieur
- éclairage et luminosité
- automation du bâtiment, senseurs/actuateurs
- participation de l'utilisateur, automation mixte
- feedback et visualisations
- télé-présence
- normes et lois

sphère privée Une des fonctions d'un bâtiment et de son aménagement intérieur est d'articuler une limite physique entre le public et le privé. L'installation de nouvelles technologies avec de multiples systèmes de senseurs bouleverse cette physicalité, tant du point de vue du potentiel de divulgation d'information, que de celui de la perception de la limite par l'utilisateur : un mur est plus facilement appréhendé dans sa nature en tant que limite qu'un logiciel pare-feu. Aborder ces questions de perception et de modèles mentaux est important dans l'optique de trouver une articulation entre limites physique et digitale, telles qu'appréhendées par l'utilisateur.

Modalités de l'IHB

Une fois déterminées les dimensions de l'espace de l'IHB, les différents leviers ou techniques permettant d'influer sur ces dimensions peuvent être explorés. Nous les rassemblons dans la liste donnée en marge et développée ensuite.

structure construite Par son comportement physique (mécanique, thermique et acoustique), la structure construite peut avoir une influence déterminante sur la perception de l'utilisateur. La volumétrie, les accès, les ouvertures, la circulation, etc sont autant d'éléments essentiels qui canalisent l'expérience de l'utilisateur, induisant une réaction ou son absence [6]. Si l'environnement construit bénéficie d'une très longue expérience, les changements sociétaux et techniques récents tendent à la rendre en partie obsolète. De ce fait, l'inscription de la composante digitale dans la structure bâtie bénéficierait d'une approche IHM.

aménagement intérieur En plus d'être un élément de la perception de l'espace, chaque aménagement à portée de l'utilisateur possède ses affordances propres. Par exemple, une fenêtre autorisant différents modes d'ouverture influera sur les modes de renouvellement d'air, sur le rapport avec

1. LEED, BREEM, Minergie, Effinergie, Passivhaus, etc.

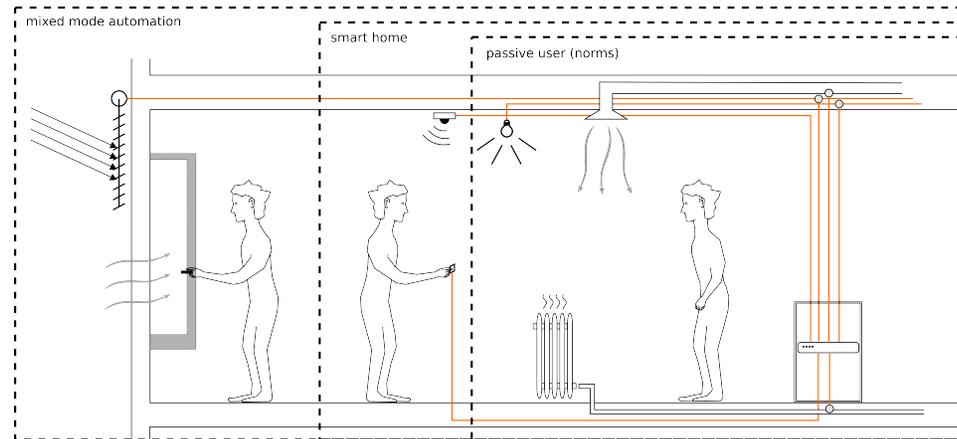


Figure 2: Illustration du modèle d'utilisateur sous-jacent dans le cas des normes actuelles (droite), du concept de smart home (milieu) et de la proposition d'automatisation mixte (gauche).

l'extérieur, ou sur le comportement thermique du bâtiment. Si le champ du design s'est déjà approprié cette question, l'implication toujours plus présente du digital requiert une méthodologie IHM [20].

éclairage et luminosité L'accès à la lumière extérieure mais aussi à une vue externe dégagée influe sur la perception subjective du confort [19]. De plus, les stratégies d'économie d'énergie tentent de limiter au maximum le recours à l'éclairage artificiel. L'avènement des LEDs permet une approche de l'éclairage complètement nouvelle, aisément contrôlable de manière digitale, devenant de fait un élément interactif.

automation du bâtiment, senseurs/actuateurs Dans l'architecture contemporaine, les éléments de contrôle du bâtiment sont souvent essentiels pour maintenir des condi-

tions de confort, par exemple en termes de chauffage ou de renouvellement de l'air. Ce contrôle est effectué par l'entremise de systèmes de senseurs et d'actuation prenant en compte le comportement des utilisateurs. Néanmoins, les concepts d'installations et les modèles d'utilisateurs servant à leur réactivité sont basés sur une conception d'un occupant avant tout passif, reléguant souvent ceux-ci dans un rôle de définitions de préférences, comme dans le concept de Smart Home [18]. Si l'intérêt d'une approche IHM dans le contexte des interfaces d'automation paraît évident et nécessaire [12], les progrès en termes de capteurs, d'automation, et d'analyse de données en conjonction avec une approche centrée-utilisateur pourraient contribuer à définir un espace d'interaction plus large [3].

participation de l'utilisateur, automation mixte En forçant un peu le trait, le paradigme actuel du rôle de l'uti-

lisateur est celui d'un générateur de chaleur, d'air vicié, grand consommateur d'eau et d'électricité. Cette simplification vers la passivité induit un biais en direction des solutions automatiques. La notion d'utilisateur actif et responsable tant de son confort que de son impact énergétique ne fait que très lentement son chemin au sein des professions du bâtiment, d'autant plus freiné par le conservatisme des normes en vigueur. L'impact sur le confort subjectif, de même que la nécessité d'améliorer la robustesse des systèmes sont autant d'arguments qui tendent vers une approche mixte comportant une partie automatisée tout en laissant une large part à l'utilisateur, idéalement ludique et engageante, appelant l'implication de l'IHM.

feedback et visualisations L'installation de senseurs se généralisant, il devient possible aux utilisateurs d'obtenir un retour de l'effet de leur interaction avec les éléments du bâtiment. Ici une différence est faite entre un retour direct, le feedback, servant à confirmer une action, d'une approche demandant une récolte des données sur un laps de temps : en analysant les données du bâtiment en fonctionnement, on peut offrir aux utilisateurs un miroir de leur comportement par l'entremise de visualisations ambiantes ou collectives, à fin de conscientisation, voire de changement de comportement [23, 4]. De telles visualisations accompagnées de méthodes d'exploration des données peuvent aussi trouver usage pour faciliter une expertise.

télé-présence Les nouveaux mode de communication et de travail à distance induisent une reconsidération de l'espace. Si les questions d'interactions ont déjà été traitées par la communauté IHM, ses implications en terme d'espace nécessaire pour l'habitat et les activités soulèvent des questions qui résonnent avec les modalités mentionnées précédemment. Ceci se traduit naturellement en implications en terme de sphère privée.

normes et lois Les normes et lois, harmonisées au niveau européen, sont extrêmement présentes dans le contexte de l'environnement construit. Certaines de ces normes représentent ce qu'il est attendu par les utilisateurs en termes de confort et de performance énergétique. D'autres formulent des modèles d'utilisation qui servent aux calculs prévisionnels de consommation d'énergie, ainsi qu'à dimensionner et contrôler les installations d'un bâtiment. Sachant que la conformité aux normes se garantit aujourd'hui en premier lieu par l'entremise de systèmes automatiques, une implication forte de la communauté IHM permettrait de faire évoluer les modèles d'utilisateur employés par les normes vers des personas plus réalistes et surtout plus actifs.

Méthodologies de l'IHB

Le contexte de l'IHB, par son aspect immersif et multimodal, est typiquement un de ceux où l'isolement de variables est difficile. Les questions méthodologiques sont donc importantes pour l'aborder du point de vue de l'IHM. Nous sommes néanmoins convaincus que les méthodologies IHM sont particulièrement adaptées à ce contexte et formulons ici quelques remarques selon nous pertinentes dans l'évaluation d'environnements interactifs liés au bâti.

métriques En terme de confort, les normes en vigueur définissent un certain nombre de grandeurs allant du nombre d'heures maximales de surchauffe à la prédiction du pourcentage de mécontents. Ces métriques se basent sur une méthode aujourd'hui remise en question car élaborée dans des conditions très spécifiques avec un rôle avant tout passif des sujets, induisant un biais vers les environnements contrôlés [9]. Cette métrique suppose la détermination précise d'un certain nombre de variables comme le degré d'habillage et d'activité physique, qui sont souvent difficiles à évaluer. De plus, il est communément accepté que cette métrique ne reflète pas le confort réellement ressenti par

l'utilisateur lui-même. Une métrique du confort subjectif demande donc à être élaborée. Parallèlement, une définition de la métrique de l'usabilité d'un espace reste aussi à définir, de même que différentes manières de quantifier le comportement d'interaction avec les éléments de l'espace.

Les différentes mesures de consommation énergétiques sont des métriques importantes pour tester des interfaces visant un changement de comportement. Ces métriques sont multiples et tentent d'harmoniser les différences entre les types de production d'énergie, par l'entremise de coefficients d'énergie primaire ou de calculs d'équivalence CO_2 . Par leur aspect abstrait, ces métriques restent difficiles à communiquer aux utilisateurs.

outils d'acquisition des interactions Dans le cadre de l'évaluation d'interfaces digitales avec le bâtiment, les méthodes d'acquisition utilisées en IHM tels que par exemple la comptabilisation des interactions ou l'oculométrie sont applicables directement. Par contre si la dynamique physique du bâtiment influe dans le processus interactif, les outils d'acquisition doivent englober des dimensions physiques, impliquant un appareillage plus important et des échelles de temps plus grandes. Par exemple, si les mesures oculométriques se font généralement dans l'environnement contraint de l'écran, une acquisition liée à la perception du confort visuel dans un espace devrait pouvoir mesurer les mouvements de l'oeil dans le contexte plus large de la pièce et effectuer une mesure plus longue pour capturer les modifications liées aux changements d'ensoleillement.

L'acquisition de l'interaction des utilisateurs avec un bâtiment peut bénéficier de la présence de senseurs installés dans le bâtiment. Mais comme ces senseurs sont installés principalement pour des raisons de contrôle des installations, il est souvent difficile d'inférer le comportement des

utilisateurs à partir de ces données. Typiquement, dans le cas d'un système d'ouverture automatique des fenêtres, les données récoltées ne contiendront que les commandes envoyées, sans refléter les probables changements effectués par l'utilisateur à partir de sa commande locale. Cette information n'étant pas prise en compte pour le contrôle, elle n'est tout simplement pas mesurée. Une méthode d'acquisition des interactions allant du mouvement au sein de l'espace aux manipulations des éléments demande donc à être mise en place et testée ; de même, la question de l'acquisition du confort subjectif au-delà des méthodes de mesure standard.

méthodes d'évaluation De manière similaire à l'IHM, des éléments interactifs IHB peuvent être évalués dans des environnements contrôlés ou directement en situations réelles (in vivo). Dans le cas d'environnements contrôlés, les techniques consistant à mettre en oeuvre des comparaisons entre ou au sein de groupes en modifiant des variables sont applicables. Néanmoins, le rôle de l'aspect physique vient compliquer la donne en exigeant une infrastructure importante, permettant de répéter les conditions, voire de conduire les expériences en parallèle, dans le cas où les conditions extérieures jouent un rôle. Pour les observations in vivo, les techniques ethnographiques ou sociologiques qualitatives sont mises en oeuvre, consistant à observer et annoter des vidéos, retranscrire et coder des interviews, etc. L'analyse des données de capteurs par les méthodes de data mining représente une nouvelle source d'évaluation dont la pertinence et l'impact doit encore être exploré.

Dans le contexte du projet de construction, il est souvent fait usage d'une modélisation du bâtiment, par exemple pour visualiser son implantation ou pour prédire sa consommation énergétique à l'aide d'une simulation thermodynamique. Ce dernier cas est intéressant : la complexité du

système réel oblige à des simplifications drastiques et le comportement des usagers y est souvent modélisé de manière très simplifiée par une densité d'occupation. C'est donc un utilisateur avant tout passif qui définit les performances prévisibles du bâtiment. Si l'ingénierie du bâtiment s'intéresse à cette problématique [26], le champ de l'IHB pourrait apporter sa contribution à des modèles correspondant aux observations in situ, de manière à revaloriser l'action de l'utilisateur.

Exemples de projets IHB

En référence à la cartographie proposée au début de cet article et pour proposer une approche pratique de l'IHB, nous présentons à présent les différents projets développés au sein du centre de recherche Human-IST en lien avec le projet smartlivinglab [17]. Issu de la collaboration de trois institutions académiques suisses, le smartlivinglab (.ch) est un projet dédié à l'étude du futur de l'environnement construit du point de vue technique et sociétal. Son but est d'imaginer les espaces de vie du futur en se concentrant sur le bien-être des habitants et les questions environnementales. Dans ce contexte, le centre de recherche Human-IST (Human Centered Interaction Science and Technology) est chargé de développer et évaluer les technologies susceptibles d'améliorer les interactions entre les utilisateurs et le bâtiment.

confort objectif/subjectif Un des projets de recherche explore la possibilité d'améliorer le confort personnel d'un occupant grâce à des senseurs et des techniques interactives, en thématissant la tension entre confort subjectif et objectif. En proposant un objet personnel empathique reflétant son confort personnel dans l'espace proche de l'utilisateur — une sorte de compagnon de confort —, ce projet s'intéresse en premier lieu à la compréhension et à l'acquisition des données de confort de l'utilisateur. Ce sys-

tème est aussi et surtout conçu pour refléter directement les conditions de confort à l'utilisateur. Une étude d'usabilité est prévue pour étudier la dynamique induite par la disponibilité de ces informations sur le comportement et le ressenti de l'utilisateur. Dans notre cartographie ce projet ne s'inscrit pas dans la définition forte de l'IHB car les implications en termes de conception architecturale sont encore spéculatives. Formuler celles-ci demandera de nombreuses études pour pouvoir en faire bénéficier les concepteurs.

Dans un projet parallèle se référant aux méthodes d'"experience sampling" [11], une application smartphone a été développée pour acquérir le confort perçu (thermique, visuel, bruit) à l'aide de simples questionnaires (voir figure 3), afin de comparer ces données avec les données objectives mesurées par les senseurs présents sur le smartphone [15]. Par rapport au projet précédent, cette approche a l'avantage de permettre un déploiement à plus large échelle, par exemple dans un bâtiment public, pour en récolter les perceptions des utilisateurs.

Suivi des interactions à l'intérieur Pour faciliter le ré-sautage lors d'un événement, nous avons développé un système qui assure un suivi passif des participants [24]. Grâce à un système de positionnement intérieur basé sur la technologie RFID, une approche par zone permet d'acquérir uniquement les données susceptibles d'être significatives pour le contexte d'utilisation, au lieu de faire un suivi continu de chaque participant. Des visualisations temps réel ont été développées, informant les participants des sujets d'intérêt des autres participants, tout en leur permettant de les localiser. Le système a été utilisé lors d'événements réels en assurant le suivi de plus d'une centaine de participants.

En cours d'évaluation, une approche similaire est basée



Figure 3: Par l'entremise de questionnaires proposés aux utilisateurs selon la méthode de l'“experience sampling”, une mesure du confort ressenti est comparée aux senseurs objectifs présent sur leur smartphone.

sur la technologie bluetooth beacon. Le but est de disposer d'un instrument de mesure fine pour étudier le comportement des utilisateurs en interaction avec les éléments du bâtiment. Ce projet se dédie pour l'instant à des fins analytiques, mais il n'est pas exclu d'utiliser les données extraites pour en faire profiter soit les utilisateurs, soit le contrôle des installations du bâtiment lui-même, inscrivant le projet dans la définition forte de l'IHB.

Visualisation des données du bâtiment Basé sur des données réelles, le but de ce projet est de développer des outils visuels interactifs pour explorer les données multivariées du bâtiment (voir fig 4) [2]. Lors de test utilisateurs, des experts ont été capables grâce à ces visualisations, d'observer en un temps limité une variété de comportements du bâtiment difficile à identifier lors d'une inspection

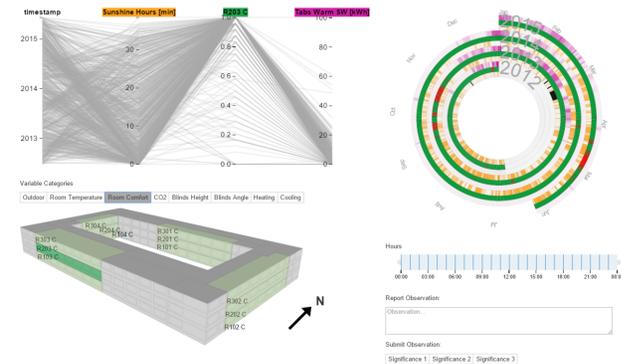


Figure 4: Visualisation interactive de données du bâtiment.

des données brutes, comme par exemple l'identification de certaines relations non triviales entre des variables mesurées. Ici, le pas consistant à mettre à disposition ces visualisations aux concepteurs, tant techniciens qu'architectes, inscrit la recherche dans la définition forte de l'IHB en englobant la question de la conception. En ce sens, un autre projet visant à aider l'architecte à inclure le critère de performance CO2 dans son processus de conception par l'exploration de données de simulation à l'aide de visualisations interactives [14] constitue un pas supplémentaire dans la bonne direction.

Discussion

Le présent article a tenté de mettre en avant une série d'arguments soutenant l'Interaction Homme-Bâtiment comme un nouveau domaine de recherche au sein de l'IHM. Ce domaine s'intéresse à l'étude des interactions humaines à l'intérieur des bâtiments, de même qu'au développement et à l'évaluation de technologies interactives pour encourager la collaboration utilisateurs-bâtiment. Les spécificités fondamentales de ce contexte, l'immersion de l'utilisateur

dans la “machine” et l’étendue des échelles d’espace et de temps, sont selon nous loin d’être anecdotiques et représentent un défi pour les méthodologies IHM, qui justifient une approche méthodologique appropriée.

Par la proposition d’une taxonomie de ce champ de recherche ainsi qu’une énumération des modalités d’influence sur les utilisateurs dans ce contexte, nous avons tenté de faire émerger des thèmes de recherche pertinents pour la communauté IHM. Ceux-ci incluent l’amélioration de l’efficacité énergétique, du confort, et des sentiments des utilisateurs envers le bâtiment. Pour donner un aperçu de la façon dont cette approche se transcrit en projets concrets, nous avons présenté une série d’exemples issus de notre activité de recherche au sein du smartlivinglab.

Malgré l’intention d’une approche exhaustive, il est fort probable que notre contribution ait omis certaines dimensions du champ de l’IHB. Nous comptons donc sur la communauté IHM pour faire fructifier la discussion et compléter cette contribution. Nous pensons que formuler le concept d’IHB au sein du champ de l’IHM permet non seulement d’intéresser les membres de cette communauté aux problèmes spécifiques à ce contexte, mais aussi d’influer sur le champs de l’ingénierie du bâtiment avec une approche et des méthodologies nouvelles.

En conclusion, une transition fondamentale est probable dans la façon dont nous interagissons avec les bâtiments, vers des styles d’interactions qui sont les thèmes de recherche de la communauté IHM. Pour en faire profiter les utilisateurs et la société dans son ensemble, il est important de revendiquer la compétence de cette communauté à élaborer des solutions centrées sur l’humain et non sur la technique.

Remerciements

Les projets présentés ici n’aurait pas pu être menés à bien sans le travail des étudiants master suivants : Thomas Rouvinez, Leonard Stalder, Roman Baeriswyl et Roman Kuepper. Leurs thèses de Master sont disponibles sur le site web Human-IST.

Bibliographie

- [1] Hamed S. Alavi, Denis Lalanne, Julien Nembrini, Elizabeth Churchill, David Kirk, and Wendy Moncur. 2016. Future of Human-Building Interaction. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '16)*. ACM, New York, NY, USA, 3408–3414. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2851581.2856502>
- [2] Roman Baeriswyl. 2015. *VISUALIZATION OF MULTIVARIATE BUILDING DATA BY SPATIOTEMPORAL BUILDING MODELS*. Technical Report. Human-IST research Centre, University of Fribourg, Fribourg, Switzerland.
- [3] Henriette Bier. 2014. Robotic Building(s). *Next Generation Building* 1, 1 (Sept. 2014), 83–92. DOI : <http://dx.doi.org/10.7564/14-NGBJ8>
- [4] Enrico Costanza, Sarvapali D. Ramchurn, and Nicholas R. Jennings. 2012. Understanding Domestic Energy Consumption Through Interactive Visualisation : A Field Study. In *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '12)*. ACM, New York, NY, USA, 216–225. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2370216.2370251>
- [5] Tim Coughlan, Michael Brown, Sarah Martindale, Rob Comber, Thomas Ploetz, Kerstin Leder Mackley, Val Mitchell, and Sharon Baurley. 2013. Methods for Studying Technology in the Home. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '13)*. ACM, New York, NY, USA, 3207–3210.

- DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2468356.2479648>
- [6] Nick Dalton, Keith Evan Green, Ruth Dalton, Mikael Wiberg, Christoph Hoelscher, Anijo Mathew, Holger Schnädelbach, and Tasos Varoudis. 2014. Interaction and Architectural Space. In *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '14)*. ACM, New York, NY, USA, 29–32. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2559206.2559226>
- [7] Julia K. Day and David E. Gunderson. 2015. Understanding High Performance Buildings : The Link between Occupant Knowledge of Passive Design Systems, Corresponding Behaviors, Occupant Comfort and Environmental Satisfaction. *Building and Environment* 84 (Jan. 2015), 114–124. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.003>
- [8] R. J. de Dear, T. Akimoto, E. A. Arens, G. Brager, C. Candido, K. W. D. Cheong, B. Li, N. Nishihara, S. C. Sekhar, S. Tanabe, J. Toftum, H. Zhang, and Y. Zhu. 2013. Progress in Thermal Comfort Research over the Last Twenty Years. *Indoor Air* 23, 6 (Dec. 2013), 442–461. DOI : <http://dx.doi.org/10.1111/ina.12046>
- [9] Poul O Fanger and others. 1970. Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering. *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.* (1970).
- [10] Nicholas Hanssens, Ajay Kulkarni, Rattapoom Tuchida, and Tyler Horton. 2002. Building Agent-Based Intelligent Workspaces.. In *International Conference on Internet Computing*. Citeseer, 675–681.
- [11] Joel M. Hektner, Jennifer A. Schmidt, and Mihaly Csikszentmihalyi. 2007. *Experience Sampling Method : Measuring the Quality of Everyday Life*. SAGE. Google-Books-ID : 05e5d_KBYYOC.
- [12] Jeff Hsu, Prashanth Mohan, Xiaofan Jiang, Jorge Ortiz, Sushant Shankar, Stephen Dawson-Haggerty, and David Culler. 2010. HBCI : Human-Building-Computer Interaction. In *Proceedings of the 2Nd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Building (BuildSys '10)*. ACM, New York, NY, USA, 55–60. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1878431.1878444>
- [13] Farrokh Jazizadeh, Ali Ghahramani, Burcin Becerik-Gerber, Tatiana Kichkaylo, and Michael Orosz. 2014. Human-Building Interaction Framework for Personalized Thermal Comfort-Driven Systems in Office Buildings. *Journal of Computing in Civil Engineering* 28, 1 (Jan. 2014), 2–16. DOI : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000300](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000300)
- [14] Thomas Jusselme, Denis Lalanne, Endrit Hoxha, Arianna Brambilla, Stefano Cozza, Marilyne Andersen, Emmanuel Rey, and Florian Evequoz. 2016. Towards a Pre-Design Method for Low Carbon Architectural Strategies. *Proceedings of PLEA 2016, 32th international Conference on Passive and Low Energy Architecture* (2016).
- [15] Roman Keeper. 2015. *RELATIONSHIP BETWEEN SUBJECTIVE COMFORT PERCEPTION AND SMARTPHONE SENSOR DATA*. Technical Report. Human-IST research Centre, University of Fribourg, Fribourg, Switzerland.
- [16] Boris Kingma and Wouter van Marken Lichtenbelt. 2015. Energy Consumption in Buildings and Female Thermal Demand. *Nature Climate Change* 5, 12 (Dec. 2015), 1054–1056. DOI : <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2741>
- [17] Denis Lalanne, Hamed S Alavi, Julien Nembrini, and Himanshu Verman. 2016. Human-Building Interaction in the Smart Living Lab. In *Future of Human-Building Interaction Workshop at the 34rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2016)*. ACM.

- [18] Sarah Mennicken, Amy Hwang, Rayoung Yang, Jesse Hoey, Alex Mihailidis, and Elaine M. Huang. 2015. Smart for Life : Designing Smart Home Technologies That Evolve with Users. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '15)*. ACM, New York, NY, USA, 2377–2380. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2702613.2702631>
- [19] William O'Brien and H. Burak Gunay. 2014. The Contextual Factors Contributing to Occupants' Adaptive Comfort Behaviors in Offices –A Review and Proposed Modeling Framework. *Building and Environment* 77 (July 2014), 77–87. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.024>
- [20] Robert J. Orr and Gregory D. Abowd. 2000. The Smart Floor : A Mechanism for Natural User Identification and Tracking. In *CHI '00 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '00)*. ACM, New York, NY, USA, 275–276. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/633292.633453>
- [21] Rajendra K. Pachauri and Andy Reisinger (Eds.). 2008. *Climate Change 2007, IPCC Synthesis Report*. Cambridge University Press.
- [22] Tom Rodden and Steve Benford. 2003. The Evolution of Buildings and Implications for the Design of Ubiquitous Domestic Environments. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '03)*. ACM, New York, NY, USA, 9–16. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/642611.642615>
- [23] Yvonne Rogers, William R. Hazlewood, Paul Marshall, Nick Dalton, and Susanna Hertrich. 2010. Ambient Influence : Can Twinkly Lights Lure and Abstract Representations Trigger Behavioral Change ?. In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '10)*. ACM, New York, NY, USA, 261–270. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1864349.1864372>
- [24] Thomas Rouvinez. 2015. *Real Time Tracking and Visualization of Indoor Social Interactions*. Technical Report. Human-IST research Centre, University of Fribourg, Fribourg, Switzerland.
- [25] Andreas Ruby. 2009. *Lacaton & Vassal*. Editions HYX, France.
- [26] Da Yan, William O'Brien, Tianzhen Hong, Xiaohang Feng, H. Burak Gunay, Farhang Tahmasebi, and Arde-shir Mahdavi. 2015. Occupant Behavior Modeling for Building Performance Simulation : Current State and Future Challenges. *Energy and Buildings* 107 (Nov. 2015), 264–278. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.032>