



HAL
open science

Une Analyse des Systèmes Interactifs et Persuasifs pour la Maîtrise de l'Énergie

Maxime Daniel, Guillaume Rivière, Nadine Couture, Stéphane Kreckelbergh

► **To cite this version:**

Maxime Daniel, Guillaume Rivière, Nadine Couture, Stéphane Kreckelbergh. Une Analyse des Systèmes Interactifs et Persuasifs pour la Maîtrise de l'Énergie. Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Oct 2016, Fribourg, Suisse. pp.197-210, 10.1145/3004107.3004111 . hal-01384149

HAL Id: hal-01384149

<https://hal.science/hal-01384149>

Submitted on 19 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.

Une Analyse des Systèmes Interactifs et Persuasifs pour la Maîtrise de l'Énergie

Maxime Daniel^{1,2} Guillaume Rivière^{1,2} Nadine Couture^{1,2} Stéphane Kreckelbergh
¹Estia-Recherche ²LaBRI UMR CNRS 5800 Lekooa
 64210, Bidart, France F-33405, Talence, France 64210, Bidart, France
 {m.daniel,g.riviere,n.couture}@estia.fr skreckelbergh@lekooa.com

RÉSUMÉ

Ces dix dernières années, en croisant la persuasion psychologique et l'interaction homme-machine, des systèmes interactifs ont été conçus avec l'objectif d'aller vers la maîtrise de l'énergie. Nous nous interrogeons sur les types d'interfaces de ces systèmes, sur les étapes de persuasion couvertes et sur les espaces ciblés. Nous avons constitué un corpus, se voulant exhaustif, de systèmes dédiés à l'électricité, et renseigné une matrice d'analyse de ce corpus selon 15 critères. Deux grands types d'interfaces se dégagent et aucun ne couvrent toutes les étapes de persuasion. Nous ouvrons aussi des perspectives pour le domaine en remarquant que la manipulation tangible active et la collaboration en coprésence (p. ex. les *tabletops*) sont sous-représentées dans le corpus.

Mots Clés

État de l'art ; IHM durable ; Énergie ; Persuasion Technologique ; Interfaces Tangibles ; Espaces collectifs ; Espaces publics ; Réseau électrique intelligent.

ABSTRACT

The past ten years, at the intersection between psychological persuasion and human-computer interaction, some interactive systems have been designed with the aim to reach energy efficiency and sufficiency. We question the types of user interfaces of these systems, the persuasion steps covered, and the spaces targeted by these systems. We have built a corpus, meant to be exhaustive, of systems dedicated to electricity and filled out a matrix to analyze the corpus according to 15 criteria. Two main types of interfaces emerge and none are covering all the persuasion steps. We also open new prospects for the field by observing that the active tangible manipulation and the copresent collaboration (e.g. the *tabletops*) are under-represented in the corpus.

Author Keywords

State of the art; Sustainable HCI; Energy; Persuasive Technology; Tangible Interfaces; Collective spaces; Public spaces; Smart grid.

ACM Classification Keywords

H.5.2 Information Interfaces and Presentation (e.g. HCI): User Interfaces; H.1.2 Information Systems: User/Machine Systems—Software psychology

INTRODUCTION

Selon des perspectives économiques et historiques, orienter le développement durable uniquement vers l'amélioration de l'*efficacité* des équipements (de consommation ou de production) restera infructueux (paradoxe de Jevons, ou effet rebond), à moins qu'elle ne soit combinée à des stratégies de *suffisance* [32]. Ainsi, pouvoir agir sur les comportements des consommateurs est une condition pour réussir le développement durable. Les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), et plus particulièrement l'Interaction Homme-Machine (IHM), ont un rôle à jouer, notamment en fournissant des moyens pour pouvoir agir sur et réguler la courbe de consommation d'électricité et atteindre la maîtrise de l'énergie. Pour l'heure, cette consommation connaît de fortes variations horosaisonnnières et des creux journaliers que les réseaux électriques actuels gèrent difficilement dû, entre autre, à un manque de visibilité sur la demande en énergie. Les réseaux électriques intelligents aideront à mieux mesurer cette demande et les citoyens deviendront des acteurs à part entière de la maîtrise de l'énergie. Ils ne consommeront pas seulement de l'énergie mais, produiront, stockeront et distribueront leur propre énergie. Engager les citoyens à gérer leur propre énergie est donc essentiel, pourtant les citoyens restent aujourd'hui relativement éloignés de l'énergie de par leurs interactions avec cette dernière qui se limitent généralement à allumer ou éteindre un appareil.

L'IHM a donc un rôle à jouer pour aider à la maîtrise de l'énergie. De nombreux travaux de recherche ont été conduits ces dix dernières années en ce sens. Seulement, la cible de beaucoup de ces travaux reste le domicile. Les systèmes interactifs conçus dans ce contexte s'adressent à des petits groupes sociaux d'utilisateurs plus facilement motivables pour maîtriser leur courbe de consommation, étant donné qu'ils sont directement impactés par le règlement du montant de leur facture énergétique. Aussi, ces systèmes sont le plus souvent conçus pour interagir avec uniquement des données de consommation. L'ambition de ces systèmes interactifs de la littérature est le plus souvent d'aider les habitants à :

- observer les conséquences du comportement (p. ex. quantité d'énergie déjà consommée, puissance instantanée utilisée) ;
- évaluer, d'un point de vue environnemental, les conséquences du comportement (p. ex. nombre

d'arbres nécessaires pour compenser l'empreinte carbone de l'énergie consommée);

- ou encore à se fixer des objectifs à atteindre (p. ex. réduire la consommation d'énergie de 10% d'ici le mois prochain).

Ces systèmes interactifs exploitent la capacité de pouvoir mesurer les données de consommation énergétique sans attendre l'arrivée différée de la facture. Des projets d'installation à grande échelle de compteurs communicants sont déjà à l'œuvre pour équiper les foyers de plusieurs pays européens (France, Royaume Uni, Espagne et Italie) à l'horizon 2020 [10]. Dans un premier temps, ces compteurs permettront de faciliter et d'automatiser le relevé des consommations. Dans un second temps, les habitants pourront mieux gérer leurs dépenses énergétiques en exploitant les données de consommation instantanées. Dans un troisième temps, des réseaux intelligents pourront exploiter ces données pour mesurer instantanément la demande et intégrer des sources de production intermittentes et des éléments de stockage et de restitution de l'énergie.

Ce qui focalise notre attention dans ce travail n'est pas tant la façon de capter ou de mesurer ces données, mais plutôt comment les présenter à l'utilisateur ? Comment se servir de visualisations ou de l'interaction pour persuader les usagers à changer de comportement et ainsi pouvoir influencer sur la courbe de consommation ? La problématique que nous traitons plus particulièrement est celle de systèmes interactifs au sein d'espaces à usage collectif et/ou public de l'énergie. De plus, outre la gestion de la consommation de l'énergie, la gestion de la production, du stockage et de la distribution de l'énergie nous intéresse également. Les micro-réseaux, qui sont des lieux de production, de stockage, de consommation et de partage local de l'énergie, sont une illustration emblématique des espaces futurs que nous ciblons. Ce positionnement que nous prenons soulève plusieurs questions, notamment :

- les systèmes interactifs déjà conçus peuvent-ils être réutilisés ?
- comment atteindre des usagers qui ne sont pas concernés d'emblée ?

Dans cet article, après avoir donné les définitions des domaines et des modèles liés aux Systèmes Interactifs Persuasifs, nous proposons de classer un corpus, se voulant exhaustif, des systèmes interactifs issus de la littérature et conçus pour aider à la maîtrise de l'énergie électrique selon un certain nombre de critères. Ce travail apporte un regard rétrospectif sur les types d'interfaces élaborées par les concepteurs et permet de distinguer les étapes de persuasion qui peuvent être couvertes et quels espaces (collectifs et publics) peuvent être atteints. Les analyses résultantes peuvent orienter la conception ou la re-conception de systèmes, notamment au sein des espaces collectifs et publics.

SYSTÈME INTERACTIF ET PERSUASIF

Nous commençons par dessiner le contour de ce qu'est un Système Interactif et Persuasif. En effet, ce domaine de l'Interaction Homme-Machine Durable *par* la conception est au carrefour de plusieurs disciplines, comme la

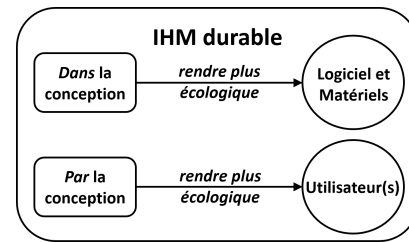


Figure 1. Schématisation de l'IHM durable.

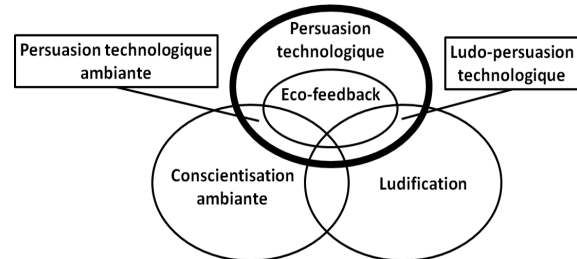


Figure 2. Diagramme de Venn décrivant les relations entre les domaines de la persuasion technologique, de la conscientisation ambiante et de la ludification.

Persuasion Technologique, la Conscientisation Ambiante et l'Interaction Homme-Énergie.

Interaction Homme-Machine durable par la conception

En 2007, Blevis [4] constate que l'IHM a tendance à considérer principalement les besoins et les exigences de l'utilisateur au détriment de ceux de l'environnement. Suite à ce constat, Blevis présente alors l'IHM durable comme l'IHM qui considère dans sa conception à la fois les besoins et les exigences de l'utilisateur et ceux de l'environnement. En 2007 également, Mankoff et al. [40] prolongent cette définition de l'IHM durable en conception en deux catégories distinctes (que nous avons représentées Figure 1) : le développement durable *dans* la conception, qui cherche à réduire les impacts environnementaux des logiciels et des matériels et le développement durable *par* la conception, qui cherche à promouvoir les prises de décisions et les styles de vie pro-environnementaux. C'est ce dernier domaine seul sur lequel nos travaux sont focalisés. En 2010, Disalvo et al. [15] font remarquer que le développement durable *par* la conception est principalement représenté par deux domaines de recherche : la persuasion technologique et la conscientisation ambiante.

Persuasion technologique

Fogg [21, 22] définit la Persuasion Technologique (Figure 2) comme la tentative de changer des *attitudes* et/ou des *comportements* avec des systèmes interactifs, mais qui n'utilise pas la tromperie ou la coercition (c.-à-d. action de contraindre à agir ou à ne pas agir). Selon Beebe et al. [2], les attitudes, croyances et valeurs sont des constructions psychologiques apprises qui motivent et influencent le comportement (c.-à-d. les actions d'un être vivant). Les attitudes sont des prédispositions à répondre à une personne, un objet ou une idée de manière favorable ou défavorable. Les croyances sont les manières dont les individus structurent leur compréhension de la réalité (p. ex. ce qui est vrai et ce qui est faux). Les

valeurs sont centrales au concept du soi et peuvent être conceptualisées comme des comportements idéaux ou des préférences pour les expériences. Parmi ces constructions psychologiques, les attitudes sont les moins durables (c.-à-d. plus propices au changement) et les valeurs sont les plus durables (c.-à-d. moins propices au changement). Le modèle transthéorique du changement proposé en 1992 par Prochaska et al. [55] est une théorie qui décrit le processus du changement de comportement comme une série d'étapes. Initialement développé pour modéliser les comportements problématiques liés à l'usage de psychotropes, ce modèle permet de suivre un individu depuis le déni vis-à-vis de l'existence d'un comportement problématique jusqu'au changement de comportement et l'installation de nouvelles habitudes. Même s'il est communément utilisé, ce modèle est parfois remis en question. Nous illustrons l'enchaînement des étapes en Figure 3.

La motivation est l'élément clé qui permet à l'individu de fournir la concentration, l'effort et l'énergie nécessaire pour progresser entre les étapes du changement. D'après Miller et Rollnick [42], la motivation est une enquête sur le pourquoi du comportement. C'est un état interne ou une condition quelque fois décrit comme un besoin, un désir ou un souhait qui sert à activer ou dynamiser le comportement. Dès 1998, Fogg [21, 22] définit les Technologies Persuasives comme des systèmes interactifs intentionnellement conçus pour aider à changer les attitudes et/ou les comportements (c.-à-d. "changer ce que les individus pensent et font") et cite la protection de l'environnement (recycler, aller travailler en vélo) comme un champ d'application possible. D'après les résultats de Hamari et al. [29] en 2014, la Persuasion Technologique semble s'associer de plus en plus à la ludification (ou encore *gamification*, qui est l'application des mécanismes de jeu à des contextes non ludiques [14]). Cette coopération semble créer une synergie qui tend à améliorer la capacité de persuasion des systèmes interactifs résultants. En 2015, Negri et Senach [43] baptisent ces systèmes interactifs comme des Systèmes Ludo-Persuasifs (SLP) intentionnellement conçus pour influencer les attitudes et/ou les comportements de manière plaisante (sans utiliser la tromperie ou la coercition). La Persuasion Technologique inspire également l'émergence de domaines de recherche dédiés à des sujets spécifiques tels que l'*éco-feedback* qui s'intéresse au développement durable par la conception et dont l'objectif est d'informer les individus et les groupes sur les conséquences de leur comportement afin de réduire les impacts environnementaux associés [24]. Dans le contexte du développement durable *par* la conception, la Persuasion Technologique cherche à sensibiliser les citoyens aux problématiques environnementales et à promouvoir les attitudes et les comportements pro-environnementaux.

Conscientisation ambiante

La Conscientisation Ambiante peut être définie comme la capacité à être sensible à ce qui nous environne [69]. En 1996, Weiser et Brown [67] évoquent pour la première fois cette capacité en IHM sous le nom de *conscientisation périphérique* dans leur définition de la *technologie calme*.

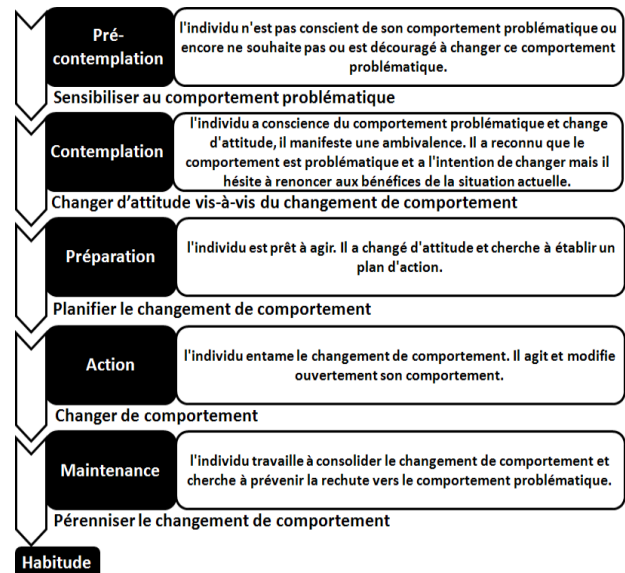


Figure 3. Modèle transthéorique du changement de comportement.

Ils définissent une technologie calme comme un système capable de voyager entre la périphérie (c.-à-d. l'utilisateur a conscience du système mais n'est pas concentré sur ce dernier) et le centre (c.-à-d. l'utilisateur est concentré sur le système) de l'attention de l'utilisateur. Ils affirment que la technologie calme augmente la conscientisation périphérique en amenant plus de détails dans l'espace environnant de l'utilisateur et permet à ce dernier de savoir ce qu'il se passe, s'est passé et va se passer autour de lui. En 1998, dans la lignée des technologies calmes, Wisneski et al. [69] définissent les Affichages Ambiants comme des systèmes interactifs capables de voyager entre la périphérie et le centre de l'attention de l'utilisateur et qui représentent calmement les changements de l'information sous forme de phénomènes perceptibles par l'homme (p. ex. forme, mouvement, son, couleur, odeur, température ou lumière). Ces systèmes se concentrent sur des représentations de l'information esthétiques, plaisantes et intégrées à l'environnement et aux objets qui nous entourent [54]. Dans le contexte du développement durable *par* la conception, la conscientisation ambiante cherche à sensibiliser les citoyens aux impacts de leur comportement sur leur environnement et plus généralement aux problématiques environnementales. Les recherches réalisées dans ce domaine sont relativement proches de la Persuasion Technologique et y sont souvent associées. Certains articles évoquent le terme de *Persuasion Technologique Ambiante* pour décrire cette intersection et indiquent que les systèmes interactifs résultants sont capables d'exercer une influence sur les individus sans nécessiter leur attention centrale [28].

Pour simplifier la compréhension et la lisibilité du document, nous appellerons un Système Interactif et Persuasif (SIP) tout système interactif issu de la Persuasion Technologique, y compris ses intersections avec la conscientisation ambiante et la ludification. Nous représentons graphiquement ces intersections en Figure 2. Les SIPs sont notre objet d'étude.

Interaction Homme-Énergie

Dans le contexte particulier qu'est la maîtrise de l'énergie, certains travaux évoquent les phénomènes d'*intangibilité* et d'*invisibilité* liés à l'énergie qui ont pour conséquence d'éloigner les citoyens de l'énergie. En 2010, Pierce et Paulos [51] évoquent ces phénomènes et proposent un cadre de conception dédié à la matérialisation de l'énergie avec pour objectif d'enrichir les interactions Homme-Énergie et ainsi rendre l'énergie *tangible*¹ et *visible* pour rapprocher les citoyens de l'énergie. Ce cadre de conception est composé de quatre fonctions de matérialisation distinctes :

- collecte (générer/produire de l'énergie) ;
- possession (stocker/maintenir de l'énergie) ;
- partage (transmettre/distribuer de l'énergie) ;
- activation (utiliser/consommer de l'énergie).

Les SIPs peuvent intégrer certaines, voire la totalité de ces fonctions. Certains de ces SIPs ne réalisent pas de calculs pour matérialiser l'énergie et la matérialisation de l'énergie est directement produite par un phénomène physique. Les auteurs parlent alors d'Interaction Homme-Énergie [51]. Par exemple, *Appearing Pattern Wallpaper* [1] laisse apparaître des motifs lorsqu'il est exposé aux ultraviolets (ce qui permet de visualiser le potentiel de production d'énergie photovoltaïque), ou encore la forme de *Heat Sensitive Lamp* [1] change pour se détériorer en fonction de la chaleur accumulée lors de l'utilisation de l'ampoule.

TRAVAUX RELATIFS

Plusieurs travaux ont déjà proposé de classer les SIPs ou de produire des critères à respecter pour concevoir ces systèmes.

En 2008, Pierce et al. [50] analysent la conception des éco-visualisations pour l'habitat et proposent de classer leur contexte d'utilisation selon deux axes : le contrôle par l'habitant et le contrôle par un tiers.

En 2012, Pierce et Paulos [52] réalisent un état de l'art sur les recherches en IHM en relation avec l'énergie et constatent que les systèmes interactifs étudiés se limitent majoritairement à la visualisation et/ou la supervision de la consommation d'énergie sur les espaces domestiques et qu'ils cherchent principalement à promouvoir la sobriété énergétique (p. ex. réaliser des économies d'énergie). Les auteurs soulignent que seulement peu de travaux s'intéressent à d'autres espaces, comme le lieu de travail ou les espaces publics (cafés, parcs, écoles ou musées).

En 2014, Hamari et al. réalisent deux états de l'art : un premier, général à la persuasion technologique [29] et un second, général à la ludification [30]. Ils extraient respectivement 52 SIPs et 24 SLPs de la littérature et analysent les méthodes utilisées pour évaluer la capacité de persuasion (p. ex. quantitative, qualitative, mixte), les résultats obtenus de ces évaluations (p. ex. positif, partiellement positif, négatif ou autre), les fonctions implantées (p. ex. accomplissement, feedback, suggestion),

1. Le terme est utilisé par les auteurs au sens du dictionnaire et n'est pas relié aux interfaces utilisateur tangibles au sens d'Ishii et Ullmer [34].

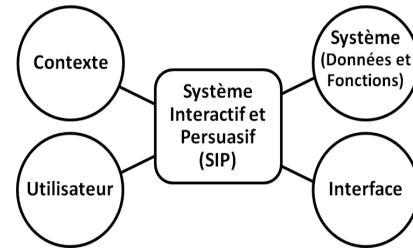


Figure 4. Cadre d'analyse pour les systèmes interactifs (et persuasifs).

les effets psychologiques recherchés (p. ex. engagement, motivation, conscience) et les domaines abordés (p. ex. santé, écologie).

En 2015, Cano et al. [8] réalisent une revue critique sur la persuasion technologique dédiée à la maîtrise de l'énergie. Ils extraient 10 SIPs du domaine et les analysent pour définir un espace de classification composé de six dimensions : domaine, fonction de persuasion, représentation, interaction, échelles et dispositifs.

Notre travail de revue de la littérature pour l'énergie électrique diffère de ces travaux car, suivant la conclusion de Pierce et Paulos [52], nous souhaitons caractériser les lieux d'usage collectif et public. Ainsi, nous sélectionnons des critères permettant d'examiner les SIPs existants selon l'espace social cible, l'échelle spatiale, la visibilité et l'accessibilité. Enfin, nous ajoutons la prise en compte des fonctions de matérialisation, de persuasion et de ludification et nous nous interrogeons sur la nature des interfaces utilisées.

CADRE D'ANALYSE DU CORPUS

Nous avons extrait de la littérature un corpus de 44 SIPs dédiés à la maîtrise de l'énergie électrique, publiés entre 2005 et 2016, la plupart provenant des conférences ACM telles que CHI, DIS, PT, UbiComp, OzCHI et NordiCHI. Pour ce faire, nous avons essentiellement recherché dans les bases bibliographiques de Google Scholar et ACM Digital Library les combinaisons de termes tels que *energy*, *persuasive technology*, *eco-feedback*, *gamification*, *ambient awareness* et également parcouru les travaux cités par les articles identifiés. Quelques SIPs du corpus sont aussi des concepts ou des produits commercialisés non publiés scientifiquement, mais qui ont été intégrés au corpus pour leur ingéniosité pouvant contribuer au domaine.

En 2013, Coutaz [13] indique qu'un système interactif peut être mesuré en terme de conformité fonctionnelle (relative au système), interactionnelle (relative à l'interface), hédonique (relative à l'utilisateur) et contextuelle (relative au contexte). À partir de cette définition, nous organisons un cadre d'analyse (Figure 4), utilisé dans la suite pour décrire les systèmes interactifs (et persuasifs), comme la composition de quatre entités interdépendantes que sont : le système (les données et les fonctions), l'interface, l'utilisateur et le contexte.

Critères liés au contexte

Le contexte informe sur les circonstances dans lesquelles les SIPs cherchent à influencer sur les comportements. Nous

déterminons trois critères liés au contexte : le changement cible, le sujet cible et l'espace cible.

Le *changement cible* informe sur les étapes du changement de comportement ciblées par le SIP (Figure 3). Par exemple, le Nuage Vert [18] est un SIP sur l'espace public qui cherche à promouvoir la sobriété énergétique (c.-à-d. réduire la consommation d'énergie par un usage approprié, sans excès et mutualisé des équipements consommateurs d'énergie [9]) chez les citoyens. Il sensibilise la société à la voracité énergétique de son comportement (pré-contemplation) et lui rappelle constamment qu'il faut maintenir le changement de comportement opéré (maintenance). Power Aware Cord [26] est un SIP sur l'espace domestique qui prend la forme d'un objet du quotidien revisité, en l'occurrence une multiprise électrique, pour laisser apparaître l'électricité qui la traverse sous forme de pulsation lumineuse. De cette façon, Power Aware Cord sensibilise l'individu à la voracité énergétique de son comportement (pré-contemplation), l'encourage à venir interagir avec son interface Homme-Energie lorsque son comportement devient trop énergivore (action) et lui rappelle constamment qu'il faut maintenir le changement de comportement opéré (maintenance).

Le *sujet cible* informe sur l'objectif énergétique pour lequel le SIP cherche à persuader l'utilisateur. Quatre sujets différents, relatifs à la gestion de l'énergie, sont distingués : la consommation d'énergie, la production d'énergie, le stockage d'énergie et la distribution d'énergie. Certains SIPs s'intéressent à un seul sujet, tels que GreenMachine [41] et Sémaphore [3] qui s'intéressent uniquement à la consommation d'énergie. GreenMachine cherche à persuader les citoyens à réduire leur consommation d'énergie alors que Sémaphore cherche à décaler cette consommation pendant les creux de demande locale et globale en énergie. D'autres SIPs s'intéressent à plusieurs sujets, tels que FORE-Watch [59] et Energy Local Lamp [51] qui s'intéressent à la consommation et la production d'énergie et cherchent à persuader les citoyens de favoriser la consommation d'énergie issue de la production d'énergie renouvelable.

L'*espace cible* informe sur l'espace social sur lequel le SIP cherche à opérer. Nous dégageons trois espaces sociaux différents qui sont les espaces domestiques, les espaces collectifs (p. ex. lieu de travail) et les espaces publics (p. ex. école publique, gare, métro). En l'occurrence, GreenMachine [41] et Ecoffices [64] sont deux SIPs qui cherchent à persuader les citoyens de réduire leur consommation d'énergie lorsqu'ils sont respectivement sur un espace domestique et sur un espace collectif.

Critères liés aux données

La partie données du système informe sur les données mesurées et utilisées par les SIPs. Nous examinons trois critères pour les données : leur type, leur échelle temporelle et leur échelle spatiale.

Le *type* définit la nature des données énergétiques mesurées et utilisées. Nous distinguons cinq types de données différents qui sont les données de consommation d'énergie, de production d'énergie, de stockage d'énergie, de distribution d'énergie et d'économie d'énergie. Par

exemple, Personalized Eco-feedback [47] mesure la consommation et l'économie d'énergie et utilise ces données pour promouvoir la sobriété énergétique, alors que, pour atteindre le même objectif, EnergyMood [39] se limite à la mesure de la consommation d'énergie.

L'*échelle temporelle* informe sur la position des données dans le temps. Nous distinguons les données historiques, instantanées et prévisionnelles (voire prédictives). FigureEnergy [12] et EnergyOrb [19] cherchent tout deux à promouvoir la sobriété énergétique mais FigureEnergy utilise des données historiques, instantanées et prévisionnelles sur la consommation et l'économie d'énergie pour atteindre cet objectif alors que EnergyOrb se restreint aux données instantanées sur la consommation d'énergie.

L'*échelle spatiale* informe sur la taille des données dans l'espace. Nous distinguons les données relatives à un appareil, une pièce, un bâtiment, un voisinage, une ville ou un pays. PowerAdvisor [38] et PowerViz [45] sont deux SIPs qui utilisent des données historiques et instantanées sur la consommation d'énergie, à la différence que PowerViz utilise des données relatives aux appareils, aux pièces et au bâtiment alors que PowerAdvisor se limite aux données relatives au bâtiment.

Critères liés aux fonctions

La partie fonction du système informe sur le noyau fonctionnel utilisé par les SIPs du corpus pour persuader. Trois critères sont examinés : les fonctions de matérialisation de l'énergie, les fonctions de persuasions et les fonctions de ludification.

Les *fonctions de matérialisation* de Pierce et Paulos [51] : la collecte, la possession, le partage et l'activation de l'énergie. Energy Curtain [58], par exemple, est un rideau revisité qui permet au citoyen de collecter, posséder et activer de l'énergie solaire. Il cherche à persuader les citoyens à produire et stocker leur propre énergie solaire pour la consommer ultérieurement et ainsi illuminer la pièce. Light Jar [51] est une jarre améliorée qui possède les mêmes fonctions de matérialisation que Energy Curtain à l'exception qu'il est portable et permet aux citoyens de partager l'énergie solaire collectée lorsqu'il est physiquement transmis de citoyen à citoyen.

Neuf *fonctions de persuasion* ont été identifiées dans le corpus et sont citées en relation avec le conditionnement opérant de Skinner [63] (c.-à-d. modèle en psychologie comportementale qui affirme que le comportement est sensible et contrôlé par ses conséquences) : le feedback immédiat (c.-à-d. retour d'information immédiat sur les conséquences du comportement), le feedback cumulé (c.-à-d. retour d'information sur les conséquences du comportement cumulées depuis une durée déterminée), la comparaison temporelle (c.-à-d. comparer les conséquences du comportement à différents moments), la comparaison spatiale (c.-à-d. comparer les conséquences du comportement à différents endroits), la comparaison sociale (c.-à-d. comparer les conséquences du comportement avec une ou plusieurs normes sociales), l'évaluation (c.-à-d. positionner les conséquences du comportement sur une échelle à intervalle borné allant

des conséquences les moins souhaitées aux conséquences les plus souhaitées), la simulation (c.-à-d. simuler le comportement à différents moments et endroits pour observer ses conséquences), la prévision (c.-à-d. projeter le comportement dans le futur pour observer ses conséquences) et la suggestion (c.-à-d. recommander un changement de comportement afin d'obtenir des conséquences plus souhaitables). Par exemple, EnergyWiz [48] et eGreen [16] implantent des fonctions d'évaluation, de comparaison temporelle et spatiale et de feedback immédiat et cumulé. Seul eGreen implante une fonction de suggestion.

Les *fonctions de ludification* se réfèrent aux mécanismes de jeu implantés dans le SIP. À partir du corpus et de l'état de l'art sur la ludification réalisé par Hamari et al. [30], nous identifions sept mécanismes de jeu différents : le challenge (c.-à-d. fixer un objectif individuel ou de groupe pour une durée déterminée), la compétition (c.-à-d. mettre en concurrence des individus ou des groupes sur un même objectif pendant une durée plus ou moins déterminée), la collaboration (c.-à-d. permettre à deux individus ou plus de travailler ensemble pour atteindre un même objectif), la progression (c.-à-d. suivre les avancements de l'individu ou du groupe vers l'objectif à atteindre), la récompense (c.-à-d. valoriser immédiatement la réalisation de l'individu et du groupe), l'accomplissement (c.-à-d. valoriser publiquement l'ensemble des réalisations de l'individu et du groupe), la personnalisation (c.-à-d. s'adapter aux caractéristiques de l'individu ou du groupe) et l'interaction sociale (c.-à-d. permettre aux individus et aux groupes d'échanger entre eux). En l'occurrence, GreenMachine [41] et EnergyWiz [48] implantent des fonctions de challenge, de compétition, de progression et d'interaction sociale. Cependant, seulement GreenMachine offre une fonction de collaboration qui permet aux utilisateurs de réaliser des challenges en équipe.

Critères liés à l'interface

La partie interface informe sur les moyens mis en œuvre par les SIPs du corpus pour communiquer avec l'utilisateur et lui permettre de contrôler le système. Quatre critères sont retenus : le type d'interface, le dispositif, l'accessibilité et la visibilité.

Le *type* définit le type de l'interface utilisateur employée par le SIP. Nous dégageons trois grands types d'interface du corpus que sont les interfaces graphiques, c'est-à-dire basées pixels (p. ex. smartphone, tablette, ordinateur personnel, projecteur, application web), les interfaces physiques, c'est-à-dire basées objets physiques (p. ex. objet du quotidien revisité, objet connecté) et les interfaces ambiantes (c.-à-d. basées conscientisation ambiante). Concrètement, les deux SIPs PowerViz [45] et Flower Lamp [1] sont des interfaces ambiantes de par leur capacité à voyager entre la périphérie et le centre de l'attention de l'utilisateur pour l'informer sur les conséquences de son comportement consommateur d'énergie. Ces deux interfaces sont tout de même différentes. PowerViz est une interface graphique ambiante qui représente virtuellement les conséquences du comportement en ajoutant/supprimant progressivement des lampes à l'écran alors que Flower Lamp est une interface physique ambiante qui représente

physiquement les conséquences du comportement par la floraison/défloraison progressive d'une lampe-fleur mécanique.

Le *dispositif* d'entrée/sortie informe sur le dispositif d'accueil du SIP. Nous distinguons les appareils mobiles (p. ex. smartphone, tablette, PC portable), les applications web, les appareils de projection, les objets connectés et les objets du quotidien revisités. Par exemple, Handy Feedback [68] est une interface graphique qui repose sur un appareil mobile au travers duquel l'utilisateur peut observer les conséquences de son comportement (c.-à-d. feedback immédiat) telles que la consommation d'énergie actuelle du radiateur de son salon et Element [27] est une interface ambiante qui repose sur un objet du quotidien, en l'occurrence le radiateur du salon, permettant à l'utilisateur d'observer immédiatement les conséquences de son comportement dans son environnement, en l'occurrence la consommation d'énergie actuelle du radiateur.

L'*accessibilité* informe sur les conditions d'accès à l'interface du SIP. À partir du corpus, nous distinguons les interfaces mobiles généralement accessibles par un unique individu au travers d'un appareil mobile et les interfaces fixes généralement accessibles par plusieurs individus au travers d'un appareil fixe sur un espace domestique, collectif ou public. Par exemple, Shake Light Bottle [51] et Energy Curtain [58] sont deux interfaces physiques ambiantes qui cherchent, entre autre, à promouvoir chez les citoyens la production, le stockage et la consommation de leur propre énergie renouvelable. Une différence réside dans l'accessibilité, car Energy Curtain est fixe (sur un espace domestique) alors que Shake Light Bottle est mobile et donc non restreinte à un espace.

La *visibilité* définit la portée de l'interface du SIP. Les interfaces employées par les SIPs du corpus sont visibles à l'échelle d'un individu, d'une pièce, d'un bâtiment ou d'une ville. Par exemple, EnergyOrb [19] est un SIP qui cherche à promouvoir la sobriété énergétique à l'aide d'une interface physique ambiante qui représente physiquement les conséquences du comportement de consommation d'énergie par une orbe lumineuse qui varie progressivement du vert au rouge et qui est visible à l'échelle d'une pièce. BoEL [33] est un SIP à la fois similaire à EnergyOrb car il a le même objectif mais à la fois différent de EnergyOrb car il est visible à plus grande échelle. En équipant tous les espaces d'une résidence avec une interface similaire à EnergyOrb, BoEL représente la consommation d'énergie actuelle d'une résidence telle un nuage de points lumineux visible à l'échelle d'un bâtiment.

Critères liés à l'utilisateur

Les critères liés à l'utilisateur informent sur les différents utilisateurs de l'interface et sur la nature de leurs interactions avec l'interface. L'utilisation du système interactif est classée selon deux critères : pro-activité et passivité des utilisateurs.

Un utilisateur *pro-actif* doit manipuler l'interface pour accéder au noyau fonctionnel du système. Nous distinguons quatre utilisateurs différents que sont l'individu, le groupe, la communauté et la société. Les deux SIPs EnergyLife [25] et Limit Eco-feedback [46]

illustrent cela en permettant tous les deux à un individu d'accéder à des fonctions de matérialisation, de persuasion et de ludification mais seulement à condition de manipuler l'interface. De plus, EnergyLife permet également à une communauté d'accéder à une fonction de ludification, plus précisément une fonction d'interaction sociale (c.-à-d. réseau social) mais toujours à condition de manipuler l'interface.

Un utilisateur *passif* ne manipule pas l'interface pour accéder au noyau fonctionnel. C'est plutôt l'interface qui va accéder au noyau fonctionnel du système et communiquer avec l'utilisateur. Par exemple, PowerViz [45] et Abstract Ambient [57] sont deux SIPs qui utilisent une interface graphique ambiante visible à l'échelle d'une pièce qui communique l'information au groupe d'individus présents dans la pièce. À défaut de Abstract Ambient, PowerViz permet à un individu de manipuler l'interface pour accéder à des fonctions de comparaison temporelle et spatiale.

CLASSIFICATION DU CORPUS

En l'absence d'une mention précise, dans les articles étudiés, concernant certains critères, cités ont été renseignés de manière empirique, en fonction de la description que font les auteurs des SIPs ou de comment les SIPs sont conçus. Par exemple, aucun des travaux ne se positionne par rapport au modèle transthéorique du changement de comportement [55] utilisé pour définir le critère du changement cible. Nous avons renseigné ce critère en nous appuyant sur He et al. [31] qui recommandent des fonctions de persuasion pour chaque étape du modèle transthéorique du changement [55].

En résultat de cette étude, une matrice d'analyse est donnée Figure 5 de 44 SIPs, dédiés à la maîtrise de l'énergie électrique, classés selon 15 critères organisés en cinq classes : le contexte, le système (les données et les fonctions), l'interface et les utilisateurs.

ANALYSE DU CORPUS

Dans la suite, nous analysons le corpus au regard de chaque critère du cadre d'analyse (Figure 5).

Presque la moitié des SIPs (21/44, soit 47,7%) sont des interfaces physiques ambiantes prenant la forme d'objets connectés ou d'objets du quotidien revisités. L'autre moitié comporte presque exclusivement des interfaces purement graphiques sur appareils mobiles ou sont des applications web, qui représentent 41% des SIPs (18/44). Enfin, les SIPs restants sont, sauf un, des interfaces graphiques ambiantes (9,1%, soit 4/44) affichées sur des appareils mobiles ou via des appareils de projection (Abstract Ambient [57], PowerViz [45], Nuage Vert [18], Reveal-it ! [65]). Une seule interface combine interface graphique et physique, prenant la forme d'un kiosque connecté (StationENR [56]).

La moitié des SIPs (50%, soit 22/44) sont mobiles mais visibles par un unique individu et sont majoritairement des interfaces graphiques (18 sur 22) et l'autre moitié des SIPs sont fixes mais visibles à l'échelle d'une pièce, d'un bâtiment ou d'une ville et sont majoritairement des interfaces ambiantes (19 sur 22). Seulement 6,8% des SIPs du corpus (3/44) sont visibles à plus d'une échelle et

sont tous des interfaces ambiantes (BoEL [33], Abstract Ambient [57] et PowerViz [45]) et seulement un SIP fixe est à la frontière entre l'espace domestique et public (BoEL [33]).

Les SIPs du corpus couvrent chacun entre une et trois étapes de changement de comportement (sur les cinq possibles). La totalité des SIPs sont adaptés pour pérenniser le changement de comportement de l'individu afin de le faire devenir une habitude (maintenance). Plus de la moitié des SIPs (59,1%, soit 26/44) sont adaptés pour changer le comportement de l'individu (action) et sont majoritairement des interfaces graphiques mobiles (15 sur 26). Plus de la moitié des SIPs (54,5%, soit 24/44) sont également adaptés pour sensibiliser l'individu au comportement problématique (pré-contemplation) et sont majoritairement des interfaces physiques ambiantes fixes (17 sur 25). Presque un quart des SIPs (22,7%, soit 10/44) sont adaptés pour préparer l'individu à changer de comportement (préparation) et sont presque exclusivement des interfaces graphiques mobiles (9 sur 10). Finalement, un seul SIP (StationENR [56]) est adapté pour tenter de changer durablement l'attitude (peser le pour et le contre) de l'individu vis-à-vis du comportement problématique (contemplation).

Plus de deux tiers des SIPs (68%, soit 30/44) s'intéressent uniquement à la consommation d'énergie et cherchent à promouvoir la sobriété énergétique. Ces systèmes englobent des interfaces graphiques mobiles et des interfaces physiques ambiantes fixes et cherchent à persuader les citoyens de réduire leur consommation d'énergie ou de la décaler pendant les creux de demande en énergie. Les SIPs du tiers restant (32%, soit 14/44) cherchent à aller au-delà de la consommation d'énergie pour se diriger vers la production, le stockage et/ou la distribution de l'énergie. Ces SIPs sont majoritairement des interfaces physiques ambiantes (10 sur 14) qui vont chercher à persuader les citoyens de favoriser la consommation d'énergie issue de la production d'énergie renouvelable (consommation + production), de stocker de l'énergie pendant les creux de demande en énergie pour la consommer ultérieurement (consommation + stockage), de partager de l'énergie avec d'autres citoyens (consommation + distribution), de produire et stocker de l'énergie renouvelable pour la consommer ultérieurement (consommation + production + stockage), de produire et stocker de l'énergie renouvelable pour la consommer ou la partager ultérieurement (consommation + production + stockage + distribution).

Près de quatre cinquièmes des SIPs du corpus (79%, soit 35/44) cherchent à persuader sur l'espace domestique. Ces SIPs sont en majorité des interfaces graphiques mobiles (17 sur 35) et des interfaces physiques ambiantes fixes (16 sur 35). Le cinquième restant des SIPs (21%, soit 9/44) s'intéressent aux espaces collectifs ou publics (StationENR [56], Ecoffices [64] et Watt-lite [36]) ou à la fois aux espaces domestiques et aux espaces publics (BoEL [33], Nuage Vert [18], Energy Tree [49] et Reveal-it ! [65]) et prennent majoritairement la forme d'interfaces ambiantes. Parmi ces dernières interfaces ambiantes, deux interfaces physiques ambiantes mobiles (Light Jar [51] et Shake

fonction de persuasion, plus d'un quart (27,3%, soit 12/44) en implante deux et un presque un quart (22,7%, soit 10/44) en implante trois. Plus de 43% des SIPs (19/44) implantent plus de quatre fonctions de persuasion et sont généralement des interfaces graphiques mobiles (13 sur 19). Aucune interface ambiante n'implante plus de quatre fonctions de persuasion, alors que certaines interfaces graphiques mobiles implantent jusqu'à six fonctions de persuasion.

Plus de la moitié du corpus (24/44, soit 54,5%) n'utilisent pas de fonction de ludification et sont majoritairement des interfaces physiques ambiantes (12 sur 24). Dans les 45,5% des SIPs restants, les quatre fonctions de ludification les plus représentées sont la compétition (22,7% des fonctions), la collaboration (15,9% des fonctions), le challenge (13,6% des fonctions) et l'interaction sociale (13,6% des fonctions). Aucune des quatre autres fonctions n'est représentée au-delà de 11,3% (5/44). La majorité des SIPs qui utilisent plusieurs fonctions de ludification sont des interfaces graphiques mobiles (8 sur 9).

Deux cinquièmes des SIPs (18/44, soit 40,9%) ne permettent pas à l'utilisateur de manipuler l'interface pour accéder au noyau fonctionnel et sont majoritairement des interfaces physiques ambiantes (14 sur 18). Plus de deux cinquièmes des SIPs (19/44, soit 43,2%) ne permettent qu'à un seul individu de manipuler l'interface pour accéder au noyau fonctionnel et sont majoritairement des interfaces graphiques mobiles (14 sur 19). Les SIPs restants (7/44, soit 15,9%) permettent à une famille, à un groupe, à une communauté ou à une société de contrôler un même système.

Plus de la moitié des SIPs (56,8%, soit 25/44) sont des interfaces ambiantes qui permettent à la famille, le groupe ou la société de recevoir de l'information tout en restant passifs. La moitié restante (43,2%, soit 19/44) sont tous des interfaces graphiques mobiles (à l'exception de StationENR) où l'utilisateur doit être actif pour recevoir l'information.

DISCUSSION

Malgré la variété des interfaces observées, deux grands types d'interfaces se dégagent de notre revue de la littérature : les interfaces graphiques mobiles (41%, soit 18/44) et les interfaces physiques ambiantes fixes (43,2%, soit 19/44). Ces deux types d'interface possèdent des caractéristiques propres qui peuvent amplifier ou restreindre la capacité de persuasion d'un SIP et peuvent donc ne pas être adaptés à toutes les étapes du changement de comportement. Nous émettons ainsi l'hypothèse que combiner plusieurs types d'interfaces pour accompagner un individu, depuis le déni vis-à-vis de l'existence d'un comportement énergétique problématique jusqu'au changement de comportement et l'installation de nouvelles habitudes, est plus adapté que d'employer un unique type d'interface pour couvrir tout ce processus du changement de comportement.

Les interfaces graphiques mobiles

La motivation est l'élément clé qui permet à l'individu de fournir la concentration, l'effort et l'énergie nécessaire pour progresser entre les étapes du changement

[42]. D'après l'analyse de la partie utilisateur, les interfaces graphiques mobiles demandent majoritairement à l'individu de manipuler l'interface pour accéder au noyau fonctionnel. Ce genre d'interaction implique habituellement de la concentration, de l'effort et de l'énergie de la part de l'utilisateur et par conséquent de la motivation. Les interfaces graphiques mobiles, telles GreenMachine [41], EnergyLife [25] ou encore EnergyWiz [48], requièrent la réalisation de tâches comme apprendre, paramétrer (p. ex. définir des objectifs hebdomadaires) et utiliser quotidiennement l'application mobile. Ces tâches impliquent de multiples manipulations de l'interface et une motivation certaine. Sachant que pendant les deux premières étapes de pré-contemplation et de contemplation, l'individu n'exprime pas une attitude favorable envers le changement de comportement, nous émettons l'hypothèse que les interfaces graphiques mobiles du corpus sont peu adaptées pour ces étapes préliminaires. En revanche, dès la troisième étape de préparation, l'individu a changé d'attitude et cherche à établir un plan d'action. À partir de cette étape, l'individu est supposé exprimer une attitude favorable envers le changement de comportement et est suffisamment motivé pour installer, apprendre et utiliser quotidiennement une application mobile destinée à l'aider à changer de comportement.

Les interfaces physiques ambiantes fixes

Les interfaces ambiantes analysées intègrent des fonctions de feedback et d'évaluation directement dans l'espace environnant de la famille, du groupe ou de la société et peuvent ainsi leur communiquer passivement les conséquences de leur comportement. Ce type d'interaction qui s'invite dans l'espace environnant ne requiert pas de motivation particulière des utilisateurs en n'exigeant pas de manipuler l'interface pour observer les conséquences de leur comportement. L'utilisateur peut ainsi s'éveiller à une conscience des problèmes liés à son comportement sans devoir manipuler l'interface. La capacité particulière des interfaces ambiantes à pouvoir communiquer à grande échelle leur permet d'aller au-delà de l'individu pour sensibiliser la famille, le groupe ou même la société. À l'image de Nuage Vert [18] qui est une interface graphique ambiante fixe sur l'espace public qui cherche à sensibiliser la société à la voracité énergétique de son comportement. Ces SIPs capables d'influencer les citoyens sur des espaces collectifs et publics sont adaptés pour la première étape de pré-contemplation.

Les interfaces ambiantes et plus particulièrement les interfaces physiques ambiantes, sont capables de prendre la forme d'objets du quotidien (et de devenir ubiquitaires [66]), généralement des interfaces Homme-Énergie faisant l'objet d'un changement de comportement telles que les lampes (p. ex. Flower Lamp [1] ou Heat Sensitive Lamp [1]), les radiateurs (p. ex. Element [27]), les prises (p. ex. Sémaphore [3]) ou les multiprises (p. ex. Power-aware Cord [26]). Les interfaces physiques ambiantes sensibilisent les individus au comportement problématique, encouragent les individus à venir interagir avec leur interface Homme-Énergie lorsque les conséquences de leur comportement ne sont plus souhaitables (action) et rappellent constamment aux individus qu'il faut maintenir

le changement de comportement opéré (maintenance). Ainsi, ces interfaces ambiantes du corpus sont adaptées aux deux dernières étapes d'action et de maintenance.

Notre analyse révèle que les interfaces ambiantes du corpus sont généralement limitées à deux genres de fonctions de persuasion : le feedback et l'évaluation. Pendant l'étape de contemplation, l'individu change d'attitude et manifeste une ambivalence. Il cherche à peser le pour et le contre du changement de comportement. Ces deux fonctions, de feedback et d'évaluation, sont recommandées [31] pour l'étape de contemplation mais sont, selon nous, insuffisantes sans une fonction de personnalisation permettant au système de s'adapter aux valeurs de l'individu (ce que ne permettent pas les interfaces ambiantes du corpus).

Persuader sur l'espace collectif et public

Utiliser la réduction de la facture énergétique comme moteur d'engagement est une pratique récurrente chez les SIPs du corpus visant l'espace domestique. Ce puissant artefact de motivation est cependant difficilement applicable sur d'autres espaces tels que l'espace collectif ou public, où l'individu n'est habituellement pas motivé par cet artefact étant donné qu'un tiers va régler la facture énergétique [50]. Sur ces espaces spécifiques, un autre moteur d'engagement alternatif peut être utilisé : le plaisir. Ce dernier est généralement véhiculé par les SIPs du corpus au travers de fonctions de ludification telles que le challenge ou la compétition. D'un point de vue du type d'interface, les deux grands représentants du corpus peuvent être réutilisés. Cependant, au-delà de la motivation, l'utilisation de smartphones ou de tablettes individuels et personnels sur des lieux où les usagers ont peu de temps vacant (lieu de travail) ou bien consomment peu d'énergie (salle d'attente d'une administration, parc) peut ne pas être adapté à toutes les situations. Somme toute, des interfaces autorisant la collaboration en coprésence, dans des salles de pause ou des halls d'entrée, peuvent alors se révéler plus adaptées à ces espaces de sociabilité. En effet, de nouvelles opportunités sont ouvertes sur ces espaces collectifs ou publics pour des interfaces qui sont trop encombrantes à installer chez un particulier comme des projections murales ou de larges surfaces interactives. Par exemple, sur un lieu de pause, des tables interactives (absentes du corpus) multi-utilisateurs pourraient encourager des usagers à échanger et à consulter des historiques ou à essayer de comprendre comment améliorer leur comportement.

Opportunité pour les interfaces tangibles

De nombreux exemples du corpus utilisent des objets physiques spécialement conçus ou des objets du quotidien (souvent liés à l'habitat) revisités. Mais en majorité cette utilisation s'arrête à la présentation de l'information et ne va pas jusqu'à sa manipulation. Seul StationENR [56] propose de manipuler des cartouches physiques pour spécifier des paramètres, mais les données sont représentées de manière graphique et non physique. Pourtant, nous envisageons qu'une expérience utilisateur mieux ancrée dans le monde physique, avec des actions plus concrètes, peut avoir un impact plus fort sur l'utilisateur à court, moyen et long terme. Déjà, dans le domaine de l'éducation, cet ancrage physique des actions

par les Interfaces Tangibles (TUIs, définies dans [34]) peut produire de réels gains pour l'apprentissage. En plaçant l'activité physique et la manipulation active au premier plan de l'apprentissage, les TUIs permettent aux enfants et aux adolescents de combiner et recombinaer, le connu et le familier, de façons nouvelles et inconnues [44]. Certaines TUIs deviennent ainsi des outils et des environnements d'apprentissage, avec plus d'opportunités pour le développement cognitif, linguistique et social qu'avec des interfaces graphiques [61]. Ces mêmes caractéristiques peuvent être réexploitées pour concevoir des SIPs avec un fort caractère de persuasion, grâce à la manipulation physique de représentations tangibles, que ce soit de manière individuelle ou collective. Une autre raison d'utiliser des représentations tangibles des données qui soient manipulables est, au-delà d'un impact renforcé sur l'individu, de développer des SIPs dont l'utilisateur ne se lasse pas dans la durée. Cela est d'autant plus important sur les lieux collectifs ou publics, où la motivation de l'utilisateur du SIP n'est pas soutenue par la réduction de la facture énergétique.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Comme déjà observé par Pierce et Paulos en 2012 [52], la majorité des systèmes sont conçus pour persuader sur les espaces domestiques et superviser la consommation. Deux grands représentants se dégagent des 44 SIPs analysés, pour l'aide à la maîtrise de l'énergie électrique. L'un, les interfaces graphiques mobiles, est adapté aux étapes de préparation, d'action et de maintenance du changement, et l'autre, les interfaces physiques ambiantes fixes, est adapté à la pré-contemplation, l'action et la maintenance. Un seul SIP se révèle adapté à l'étape de contemplation. Les interfaces du corpus utilisant des objets physiques sont majoritairement ambiantes et, à l'exception d'une seule, ne permettent pas de manipulation. Or des représentations tangibles manipulables peuvent renforcer l'impact sur l'utilisateur à persuader (en ancrant dans le monde physique les actions sur le noyau fonctionnel du SIP). Et sur un lieu public, ce type d'interface favorise des interactions sociales.

Au regard de nos critères, les systèmes existants apparaissent peu réutilisables pour la maîtrise de l'énergie au sein d'espaces à usage collectif et/ou public, soit parce qu'ils sont multi-utilisateurs mais passifs, soit parce qu'ils permettent la manipulation active mais sont individuels et destinés à des utilisateurs concernés par la facture de leur habitation. Chaque SIP ne couvre que quelques étapes et certaines étapes restent peu couvertes. Faire coexister des interfaces graphiques mobiles et des interfaces physiques ambiantes, pour se compléter en combinant leurs différentes fonctions, afin de couvrir toutes les étapes du changement, reste un travail à mener. Un autre travail reste de concevoir des interfaces pour les lieux d'usage collectif ou publics, par exemple avec des tables interactives pour la collaboration en coprésence ou des interfaces tangibles offrant de la manipulation physique.

BIBLIOGRAPHIE

1. Sara Backlund, Magnus Gyllenswärd, Anton Gustafsson, Sara Ilstedt Hjelm, Ramia Mazé, and Johan Redström. 2007. Static ! The aesthetics of energy in everyday things. In *Proceedings of Design Research Society Wonderground International Conference 2006 (DRSW '07)*.
2. Steven A Beebe, Susan J Beebe, and Mark V Redmond. 2011. *Interpersonal communication : Relating to Others* (6 ed.). Allyn & Bacon/Pearson.
3. Gilles Belley. 2006. Sémaphore. (2006). Retrieved 2016-08-02 from <http://www.gillesbelley.fr/>.
4. Eli Blevis. 2007. Sustainable Interaction Design : Invention & Disposal, Renewal & Reuse. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '07)*. ACM, New York, NY, USA, 503–512. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1240624.1240705>
5. Jacky Bourgeois, Janet van der Linden, Gerd Kortuem, Blaine A. Price, and Christopher Rimmer. 2014. Conversations with My Washing Machine : An In-the-wild Study of Demand Shifting with Self-generated Energy. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp '14)*. ACM, New York, NY, USA, 459–470. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2632048.2632106>
6. Looe Broms. 2011. Sustainable Interactions : Studies in the Design of Energy Awareness Artefacts. Licenciate thesis, Linköping University, Department of Computer and Information Science. (2011).
7. Looe Broms, Cecilia Katzeff, Magnus Bång, Åsa Nyblom, Sara Ilstedt Hjelm, and Karin Ehrnberger. 2010. Coffee Maker Patterns and the Design of Energy Feedback Artefacts. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS '10)*. ACM, New York, NY, USA, 93–102. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1858171.1858191>
8. Grégory Cano, Yann Laurillau, and Gaëlle Calvary. 2015. Persuasive Technology and Energy : critical analysis of the state of the art. *Journal d'Interaction Personne-Système* Volume 4, Numéro 1, Numéro Spécial : PISTIL (oct 2015). <http://jips.episciences.org/1292>
9. Stéphane Chatelin. 2016. Qu'est-ce que la sobriété ? (2016). Retrieved 2016-08-02 from http://www.negawatt.org/telechargement/Presse/1601_Fil-dargent-Qu-est-ce-que-la-sobriete.pdf.
10. Commission de régulation de l'énergie. 2016. Les projets de compteurs évolués en Europe. (2016). Retrieved 2016-08-02 from <http://www.smartgrids-cre.fr/>.
11. Enrico Costanza, Joel E. Fischer, James A. Colley, Tom Rodden, Sarvapali D. Ramchurn, and Nicholas R. Jennings. 2014. Doing the Laundry with Agents : A Field Trial of a Future Smart Energy System in the Home. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14)*. ACM, New York, NY, USA, 813–822. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2556288.2557167>
12. 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>
13. Joëlle Coutaz. 2013. Essai sans prétention sur l'Interaction Homme-Machine et son évolution. *Bulletin de la Société Informatique de France* 1 (2013), 15–33.
14. Sebastian Deterding, Dan Dixon, Rilla Khaled, and Lennart Nacke. 2011. From Game Design Elements to Gamefulness : Defining "Gamification". In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference : Envisioning Future Media Environments (MindTrek '11)*. ACM, New York, NY, USA, 9–15. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2181037.2181040>
15. Carl DiSalvo, Phoebe Sengers, and Hrönn Brynjarsdóttir. 2010. Mapping the Landscape of Sustainable HCI. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*. ACM, New York, NY, USA, 1975–1984. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1753326.1753625>
16. eGreen. 2016. Prenez plaisir à réduire vos consommations. (2016). Retrieved 2016-08-02 from <http://www.egreen.fr/>.
17. Thomas Erickson, Ming Li, Younghun Kim, Ajay Deshpande, Sambit Sahu, Tian Chao, Piyawadee Sukaviriya, and Milind Naphade. 2013. The Dubuque Electricity Portal : Evaluation of a City-scale Residential Electricity Consumption Feedback System. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*. ACM, New York, NY, USA, 1203–1212. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2470654.2466155>
18. H. Evans, H. Hansen, and J. Hagedorn. 2009. Artful Media : Nuage Vert. *IEEE MultiMedia* 16, 3 (July 2009), 13–15. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/MMUL.2009.54>
19. Ahmad Faruqui, Sanem Sergici, and Ahmed Sharif. 2010. The impact of informational feedback on energy consumption—A survey of the experimental evidence. *Energy* 35, 4 (2010), 1598 – 1608. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.042>
20. Daniel Filonik, Richard Medland, Marcus Foth, and Markus Rittenbruch. 2013. A Customisable Dashboard Display for Environmental Performance Visualisations. In *Proceedings of the 8th International Conference on Persuasive Technology (PERSUASIVE '13)*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 51–62. DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-37157-8_8
21. Brian J. Fogg. 1998. Persuasive Computers : Perspectives and Research Directions. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in*

- Computing Systems (CHI '98)*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., New York, NY, USA, 225–232. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/274644.274677>
22. B. J. Fogg. 2002. Persuasive Technology : Using Computers to Change What We Think and Do. *Ubiquity* 2002, December, Article 5 (dec 2002). DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/764008.763957>
 23. Derek Foster, Shaun Lawson, Mark Blythe, and Paul Cairns. 2010. Wattsup? : Motivating Reductions in Domestic Energy Consumption Using Social Networks. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction : Extending Boundaries (NordiCHI '10)*. ACM, New York, NY, USA, 178–187. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1868914.1868938>
 24. Jon Froehlich, Leah Findlater, and James Landay. 2010. The Design of Eco-feedback Technology. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*. ACM, New York, NY, USA, 1999–2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1753326.1753629>
 25. Luciano Gamberini, Anna Spagnoli, Nicola Corradi, Giulio Jacucci, Giovanni Tusa, Topi Mikkola, Luca Zamboni, and Eve Hoggan. 2012. Tailoring Feedback to Users' Actions in a Persuasive Game for Household Electricity Conservation. In *Proceedings of the 8th International Conference on Persuasive Technology*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 100–111. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-31037-9_9
 26. Anton Gustafsson and Magnus Gyllenswård. 2005. The Power-aware Cord : Energy Awareness Through Ambient Information Display. In *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '05)*. ACM, New York, NY, USA, 1423–1426. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1056808.1056932>
 27. Magnus Gyllenswård, Anton Gustafsson, and Magnus Bang. 2006. Visualizing Energy Consumption of Radiators. In *Persuasive Technology*. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3962. Springer Berlin Heidelberg, 167–170. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/11755494_24
 28. Jaap Ham and Cees Midden. 2010. Ambient Persuasive Technology Needs Little Cognitive Effort : The Differential Effects of Cognitive Load on Lighting Feedback Versus Factual Feedback. In *Proceedings of the 5th International Conference on Persuasive Technology (PERSUASIVE '10)*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 132–142. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-13226-1_14
 29. Juho Hamari, Jonna Koivisto, and Tuomas Pakkanen. 2014a. Do Persuasive Technologies Persuade ? - A Review of Empirical Studies. In *Proceedings of the 9th International Conference on Persuasive Technology (PERSUASIVE '14)*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 118–136. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-07127-5_11
 30. J. Hamari, J. Koivisto, and H. Sarsa. 2014b. Does Gamification Work ? – A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. In *2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences*. 3025–3034. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/HICSS.2014.377>
 31. Helen Ai He, Saul Greenberg, and Elaine M. Huang. 2010. One Size Does Not Fit All : Applying the Transtheoretical Model to Energy Feedback Technology Design. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*. ACM, New York, NY, USA, 927–936. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1753326.1753464>
 32. Lorenz Hilty, Wolfgang Lohmann, and Elaine M Huang. 2011. Sustainability and ICT - An overview of the field. *Notizie di Politeia* 27, 104 (2011), 13–28. DOI: <http://dx.doi.org/10.5167/uzh-55640>
 33. Interactive Institute Eskilstuna. 2015. Design results. (2015). Retrieved 2016-08-02 from <https://www.tii.se/groups/energydesign>.
 34. Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer. 1997. Tangible Bits : Towards Seamless Interfaces Between People, Bits and Atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97)*. ACM, New York, NY, USA, 234–241. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/258549.258715>
 35. Rishee K. Jain, John E. Taylor, and Gabriel Peschiera. 2012. Assessing eco-feedback interface usage and design to drive energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings* 48 (2012), 8 – 17. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.033>
 36. Li Jönsson, Looove Broms, and Cecilia Katzeff. 2010. Watt-Lite : Energy Statistics Made Tangible. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS '10)*. ACM, New York, NY, USA, 240–243. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1858171.1858214>
 37. Ju-Whan Kim, Yun-Kyung Kim, and Tek-Jin Nam. 2009. The TéNéRé : Design for Supporting Energy Conservation Behaviors. In *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '09)*. ACM, New York, NY, USA, 2643–2646. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1520340.1520372>
 38. Jesper Kjeldskov, Mikael B. Skov, Jeni Paay, and Rahuvaran Pathmanathan. 2012. Using Mobile Phones to Support Sustainability : A Field Study of Residential Electricity Consumption. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12)*. ACM, New York, NY, USA, 2347–2356. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2207676.2208395>
 39. A. Lejeune and L-A Pennaneach. 2015. Energymood. (2015). Retrieved 2016-08-02 from http://www.sharingenergyinthecity.com/wp-content/uploads/2014/02/DP_Biennale-design.pdf.
 40. Jennifer C. Mankoff, Eli Blevis, Alan Borning, Batya Friedman, Susan R. Fussell, Jay Hasbrouck, Allison Woodruff, and Phoebe Sengers. 2007. Environmental

- Sustainability and Interaction. In *CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '07)*. ACM, New York, NY, USA, 2121–2124. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1240866.1240963>
41. Aaron Marcus and Jérémie Jean. 2009. Going Green at Home : The Green Machine. *Information Design Journal* 17, 3 (2009), 235–245. DOI : <http://dx.doi.org/doi:10.1075/idj.17.3.08mar>
42. William Miller and Stephen Rollnick. 2003. Motivational interviewing : Preparing people for change. *Journal for Healthcare Quality* 25, 3 (2003), 46.
43. Anne-Laure Negri and Bernard Senach. 2015. Ludo-persuasive systems for sustainable consumption. *Journal d'Interaction Personne-Système* Volume 4, Numéro 1, Numéro Spécial : PISTIL (oct 2015). <http://jips.episciences.org/1298>
44. Claire O'Malley and Danae S. Fraser. 2004. *Literature Review in Learning with Tangible Technologies*. Technical Report 12. Nesta FutureLab Series, Bristol.
45. Jeni Paay, Jesper Kjeldskov, Mikael B. Skov, Dennis Lund, Tue Madsen, and Michael Nielsen. 2014. Design of an Appliance Level Eco-feedback Display for Domestic Electricity Consumption. In *Proceedings of the 26th Australian Computer-Human Interaction Conference on Designing Futures : The Future of Design (OzCHI '14)*. ACM, New York, NY, USA, 332–341. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2686612.2686663>
46. Lucas Pereira, Filipe Quintal, Mary Barreto, and Nuno J. Nunes. 2013. Understanding the Limitations of Eco-feedback : A One-Year Long-Term Study. In *Human-Computer Interaction and Knowledge Discovery in Complex, Unstructured, Big Data*, Andreas Holzinger and Gabriella Pasi (Eds.). Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7947. Springer Berlin Heidelberg, 237–255. DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-39146-0_21
47. Petromil Petkov, Suparna Goswami, Felix Köbler, and Helmut Krcmar. 2012. Personalised Eco-feedback As a Design Technique for Motivating Energy Saving Behaviour at Home. In *Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction : Making Sense Through Design (NordiCHI '12)*. ACM, New York, NY, USA, 587–596. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2399016.2399106>
48. Petromil Petkov, Felix Köbler, Marcus Foth, and Helmut Krcmar. 2011. Motivating Domestic Energy Conservation Through Comparative, Community-based Feedback in Mobile and Social Media. In *Proceedings of the 5th International Conference on Communities and Technologies (C&T '11)*. ACM, New York, NY, USA, 21–30. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2103354.2103358>
49. Lara S. G. Piccolo, Cecília Baranauskas, and Rodolfo Azevedo. 2016. A socially inspired energy feedback technology : challenges in a developing scenario. *AI & SOCIETY* (2016), 1–17. DOI : <http://dx.doi.org/10.1007/s00146-016-0653-8>
50. James Pierce, William Odom, and Eli Blevis. 2008. Energy Aware Dwelling : A Critical Survey of Interaction Design for Eco-visualizations. In *Proceedings of the 20th Australasian Conference on Computer-Human Interaction : Designing for Habitus and Habitat (OZCHI '08)*. ACM, New York, NY, USA, 1–8. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1517744.1517746>
51. James Pierce and Eric Paulos. 2010. Materializing Energy. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS '10)*. ACM, New York, NY, USA, 113–122. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1858171.1858193>
52. James Pierce and Eric Paulos. 2012a. Beyond Energy Monitors : Interaction, Energy, and Emerging Energy Systems. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12)*. ACM, New York, NY, USA, 665–674. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2207676.2207771>
53. James Pierce and Eric Paulos. 2012b. The Local Energy Indicator : Designing for Wind and Solar Energy Systems in the Home. In *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference (DIS '12)*. ACM, New York, NY, USA, 631–634. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2317956.2318050>
54. Zachary Pousman and John Stasko. 2006. A Taxonomy of Ambient Information Systems : Four Patterns of Design. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI '06)*. ACM, New York, NY, USA, 67–74. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1133265.1133277>
55. James O Prochaska, Carlo C DiClemente, and John C Norcross. 1992. In search of how people change : applications to addictive behaviors. *American psychologist* 47, 9 (1992), 1102. DOI : <http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.47.9.1102>
56. Guillaume Rivière and Stéphane Kreckelbergh. 2012. La StationENR pour sensibiliser aux énergies renouvelables par la modélisation de micro-réseaux. In *Ergo'IHM '12 : Adjunct Proceedings of the 2012 Conference on Ergonomie Et Interaction Homme-machine*. 63–66.
57. Johnny Rodgers and Lyn Bartram. 2011. Exploring Ambient and Artistic Visualization for Residential Energy Use Feedback. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on* 17, 12 (Dec 2011), 2489–2497. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2011.196>
58. Sara Routarinne. 2009. Domestication as design intervention. *Nordes* 2 (2009).
59. Johann Schrammel, Cornelia Gerdenitsch, Astrid Weiss, Patricia M. Kluckner, and Manfred Tscheligi. 2011. FORE-Watch – the Clock That Tells You when to Use : Persuading Users to Align Their Energy Consumption with Green Power Availability. In *Proceedings of the Second International Conference on Ambient Intelligence (AmI'11)*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 157–166. DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25167-2_19

60. Tobias Schwartz, Gunnar Stevens, Timo Jakobi, Sebastian Deneff, Leonardo Ramirez, Volker Wulf, and Dave Randall. 2015. What People Do with Consumption Feedback : A Long-Term Living Lab Study of a Home Energy Management System. *Interacting with Computers* 27, 6 (2015), 551–576. DOI : <http://dx.doi.org/10.1093/iwc/iwu009>
61. Orit Shaer and Eva Hornecker. 2010. Tangible User Interfaces : Past, Present, and Future Directions. *Found. Trends Hum.-Comput. Interact.* 3, 1&2 (Jan. 2010), 1–137. DOI : <http://dx.doi.org/10.1561/11000000026>
62. Will Simm, Maria Angela Ferrario, Adrian Friday, Peter Newman, Stephen Forshaw, Mike Hazas, and Alan Dix. 2015. Tíree Energy Pulse : Exploring Renewable Energy Forecasts on the Edge of the Grid. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*. ACM, New York, NY, USA, 1965–1974. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702285>
63. Burrhus Frederic Skinner. 1976. *About behaviorism*. Vintage Books, New York.
64. Emilie Thibault, Régis Decorme, Bernard Senach, Brigitte Trousse, Carole Goffart, and Pascal Torres. 2012. Rapport final du projet ECOFFICES. (2012), 31. <https://hal.inria.fr/hal-00769624> Pacalabs Ecoffices, www.ecoffices.com.
65. Nina Valkanova, Sergi Jorda, Martin Tomitsch, and Andrew Vande Moere. 2013. Reveal-it ! : The Impact of a Social Visualization Projection on Public Awareness and Discourse. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*. ACM, New York, NY, USA, 3461–3470. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2470654.2466476>
66. Mark Weiser. 1991. The Computer for the 21st Century. *Scientific American* 265, 3 (sep 1991), 66–75.
67. Mark Weiser and John Seely Brown. 1996. Designing calm technology. *PowerGrid Journal* 1, 1 (1996), 75–85.
68. Markus Weiss, Friedemann Mattern, Tobias Graml, Thorsten Staake, and Elgar Fleisch. 2009. Handy Feedback : Connecting Smart Meters with Mobile Phones. In *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '09)*. ACM, New York, NY, USA, Article 15, 4 pages. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1658550.1658565>
69. Craig Wisneski, Hiroshi Ishii, Andrew Dahley, Matthew G. Gorbet, Scott Brave, Brygg Ullmer, and Paul Yarin. 1998. Ambient Displays : Turning Architectural Space into an Interface Between People and Digital Information. In *Proceedings of the First International Workshop on Cooperative Buildings, Integrating Information, Organization, and Architecture*. Springer-Verlag, London, UK, UK, 22–32. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=645968.674740>