

Evaluation in-situ d'une approche "What if" pour l'eco-feedback

Jérémy Wambecke, Georges-Pierre Bonneau, Renaud Blanch, Romain Vergne

► To cite this version:

Jérémy Wambecke, Georges-Pierre Bonneau, Renaud Blanch, Romain Vergne. Evaluation in-situ d'une approche "What if" pour l'eco-feedback. AFIHM. IHM 2018 - 30eme conférence francophone sur l'interaction homme-machine, Oct 2018, Brest, France. IHM-2018, pp.83-91, 2018, Articles Scientifiques. <<https://ihm2018.afihm.org/>>. <hal-01899031>

HAL Id: hal-01899031

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01899031>

Submitted on 19 Oct 2018

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.

Evaluation in-situ d'une approche "What if" pour l'eco-feedback

In-situ Evaluation of a "What if" Approach for Eco-feedback

Jérémy Wambecke

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Inria, Grenoble INP, LJK, LIG
38000 Grenoble, France
jeremy.wambecke@gmail.com

Renaud Blanch

Univ. Grenoble Alpes, LIG
38000 Grenoble, France
renaud.blanch@univ-grenoble-alpes.fr

Georges-Pierre Bonneau

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Inria, Grenoble INP, LJK
38000 Grenoble, France
georges-pierre.bonneau@inria.fr

Romain Vergne

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Inria, Grenoble INP, LJK
38000 Grenoble, France
romain.vergne@inria.fr

ABSTRACT

Decreasing electricity consumption is a major challenge of our society. Eco-feedback methods allow users to get information about their electricity consumption to reduce it. However it is still difficult to determine what are the actions that impact the consumption in practice. In this paper we suggest to apply a *What if* approach to eco-feedback in a household context. We deploy the *Activelec* system in personal housings, which allows to apply virtual modifications in appliances usage and to evaluate the savings realized. The results of our experimentation show that participants appreciated the interaction method based on the *What if*. It allowed them to find and to evaluate efficient modifications in their appliances usage, and several have been applied in practice by the participants. This experimentation shows that the *What if* paradigm is a potential way for eco-feedback technologies.

CCS CONCEPTS

• Human-centered computing → Visualization systems and tools; Empirical studies in visualization; Visualization design and evaluation methods;

RÉSUMÉ

Réduire la consommation d'électricité est un enjeu majeur de notre société. Les méthodes *eco-feedback* permettent aux utilisateurs d'obtenir un retour sur leur consommation d'électricité afin de la diminuer. Toutefois, il est toujours difficile de déterminer concrètement quelles actions impactent la consommation. Dans cet article, nous proposons d'appliquer une méthode *What if* à l'eco-feedback en contexte domestique. Nous déployons le système *Activelec* dans des logements personnels, qui permet d'appliquer des changements virtuels dans l'utilisation des appareils et d'évaluer les économies

réalisées. Les résultats de notre expérimentation montrent que les participants ont apprécié la méthode d'interaction basée sur le *What if*. Celle-ci leur a permis de trouver et d'évaluer des modifications efficaces dans l'utilisation de leurs appareils, et certaines ont été appliquées en pratique par les participants. Cette expérimentation montre que le paradigme *What if* est une piste potentielle pour les technologies eco-feedback.

MOTS-CLEFS

Systèmes et outils de visualisation, conception de visualisation et méthodes d'évaluation, études empiriques en visualisation

1 INTRODUCTION

Au niveau mondial la production d'électricité est responsable de la plus grosse partie des émissions de gaz à effet de serre, dépassant les transports [1]. De plus le secteur résidentiel est le plus consommateur d'énergie devant l'industrie [21]. Des efforts doivent donc être fournis pour permettre aux ménages de réduire leur consommation d'électricité, ce qui leur permet également de réaliser des gains financiers. Avec le développement de l'informatique ubiquitaire et surtout des capteurs [6], il est désormais relativement facile de mesurer la consommation des appareils d'un logement. Ainsi les technologies eco-feedback [16] permettent de montrer à l'utilisateur sa consommation d'énergie dans le but de la diminuer. Elles sont efficaces puisqu'elles permettent d'économiser de 5% [10] à 23% [22] de la consommation d'électricité. Toutefois les technologies eco-feedback ont certaines limitations. A quelques exceptions près [7, 9], les systèmes déployés pour les expérimentations en contexte réel proposent des moyens d'interaction limités [16]. De plus les utilisateurs éprouvent des difficultés à trouver des changements de comportement efficaces [13, 26, 30].

Dans cet article nous présentons une évaluation in-situ d'une approche *What if*, permettant la visualisation de changements de comportement, appliquée à la consommation d'électricité en conditions domestiques réelles. Cette étude est basée sur le système *Activelec* [3] qui permet de visualiser et d'interagir avec les utilisations des appareils électriques et leur consommation d'énergie. Le système s'appuie sur un modèle de données qui représente le comportement en tant qu'utilisations des appareils au cours du temps. Grâce à ce modèle, les utilisateurs peuvent sélectionner des utilisations et les modifier virtuellement, puis obtenir un retour sur

le gain réalisé. *Activelec* permet donc aux utilisateurs de trouver et d'évaluer des changements de comportement. Dans le but d'étudier l'utilisation du système, et au-delà la pertinence de l'approche *What if* pour la consommation d'électricité, nous déployons le système dans trois logements personnels, pour un total de cinq participants.

L'expérimentation montre que le système *Activelec* est applicable en pratique dans un contexte personnel. Le paradigme de visualisation et l'approche *What if* ont permis aux utilisateurs de lier les utilisations de leurs appareils à leurs consommations d'énergie respectives. Les participants sont parvenus à trouver des changements de comportement pertinents dans le système, qui leur permettrait d'économiser une quantité d'énergie non négligeable. Même si certifier des changements de comportement réels n'est pas le but de ce travail, les participants ont déclaré avoir appliqué certaines de ces modifications dans leur logement. Cette expérimentation permet d'identifier les points de l'approche *What if* à améliorer dans le contexte de la visualisation de la consommation d'électricité. Elle apporte également des implications pour le domaine de l'eco-feedback et pour la visualisation en contexte personnel de manière générale.

L'article est organisé de la manière suivante. La section 2 présente l'état de l'art relatif au domaine de l'eco-feedback. La section 3 rappelle les fonctionnalités du système *Activelec* qui est utilisé pour l'expérimentation. Les sections 4 et 5 présentent respectivement l'expérimentation et ses résultats. Enfin la section 6 est une synthèse de l'expérimentation et énonce les perspectives qu'elle ouvre.

2 ETAT DE L'ART

2.1 Visualisation personnelle

La visualisation personnelle peut être définie comme l'utilisation de moyens informatiques permettant la représentation et l'analyse visuelle des données à caractère personnel [8, 20, 28]. Ce domaine s'applique aux données sur soi-même telles que le sommeil [25] ou encore l'activité physique [24]. Il s'applique également aux données personnelles qui ne proviennent pas directement de l'utilisateur mais dépendent de son comportement, telles que la consommation d'énergie dans notre cas.

La visualisation personnelle est différenciable de la visualisation d'information classique car les utilisateurs ne sont experts ni dans la visualisation ni dans le domaine étudié [20]. Les outils de visualisation personnelle sont utilisés dans un contexte personnel, ce qui implique des changements d'utilisation par rapport aux outils de visualisation classiques. Par exemple l'utilisateur passe potentiellement moins de temps à l'analyse que dans un contexte professionnel. Il est donc impossible de réutiliser directement des visualisations sans les adapter à ce contexte [28]. Aussi les données et informations à en tirer sont différentes. L'accent est placé sur la réflexion sur soi et sur son propre comportement, qui nécessite d'ajouter un contexte personnel externe que seul l'utilisateur possède [8]. Dans ce cadre, l'ajout de contexte à la visualisation est nécessaire car la mémoire seule de l'utilisateur ne suffit pas [20]. L'évaluation de ces systèmes est difficile en raison du contexte d'utilisation. Etant donné que le but de ces systèmes n'est pas la performance, les techniques classiques d'évaluation en termes de temps et d'erreurs ne sont pas applicables [20].

2.2 Visualisation de la consommation électrique

Les technologies eco-feedback présentent aux habitants d'un logement leur consommation électrique avec pour objectif la diminution de cette consommation [16]. Ce domaine a été étudié intensivement et les études montrent que ces techniques sont efficaces puisqu'elles induisent une diminution de la consommation de 5 [10] à 23% [22]. Toutefois si la majorité de ces études analysent l'évolution de la consommation dans des logements instrumentés, l'utilisation et l'interaction avec les technologies déployées sont peu étudiées [19]. En particulier la conception et les éléments de ces systèmes de visualisation sont rarement étudiés alors qu'ils sont cruciaux pour leur efficacité [26]. Aussi des études qualitatives telles que celle de Kendel *et al.* [22] sont menées afin de mieux comprendre l'utilisation au quotidien des technologies de visualisation de la consommation électrique. Ce type d'études permet de mieux comprendre pourquoi l'eco-feedback est efficace : les utilisateurs apprennent leur comportement et leur consommation [5].

Toutefois ces études mettent également en lumière les limites de ces technologies. La consommation électrique est souvent jugée abstraite par les utilisateurs et est souvent mal comprise. En particulier la confusion entre puissance instantanée et énergie consommée est souvent présente [30]. La principale difficulté pour les utilisateurs est de trouver des changements de comportement pertinents [4, 5, 30]. Les conseils habituels tels que "éteindre les lumières" se révèlent souvent inefficaces [12]. En effet les changements de comportement qui pourraient permettre d'économiser de l'énergie varient selon les appareils mais surtout selon les habitants, car ces changements dépendent de facteurs socio-économiques souvent négligés tels que le confort [26]. Enfin ces technologies manquent souvent d'ajout de contexte et de moyens d'interaction. Par exemple pouvoir visualiser et manipuler les utilisations des appareils pourrait s'avérer utile pour les utilisateurs.

A notre connaissance peu de systèmes permettent ce type d'interactions. Pour notre expérimentation nous utilisons le système *Activelec* [3] que nous avons précédemment développé et qui est décrit dans la section 3. *Figure Energy* de Costanza *et al.* [9] est le système le plus proche de ce dernier. Il offre aux utilisateurs la possibilité d'annoter les utilisations des appareils au cours du temps. Il permet également de supprimer des utilisations et ainsi propose une méthode de *What if*, mais ces suppressions ne sont pas répercutées sur la visualisation temporelle, à la différence de *Activelec*. Enfin la visualisation *Demand horizons* de Goodwin *et al.* [18] permet également d'appliquer des scénarios de type *What if* mais uniquement sur les données brutes de consommation et non sur les utilisations des appareils. Cette méthode est de plus conçue pour les analystes énergétiques professionnels tandis que *Activelec* est conçu pour un usage en contexte personnel.

3 ACTIVELEC, UN SYSTÈME APPLIQUANT LE WHAT IF À L'ECO-FEEDBACK

Cette section rappelle les caractéristiques principales du système *Activelec* [3] qui a été déployé dans des logements pour réaliser l'expérimentation présentée dans cet article. Nous nous contentons ici

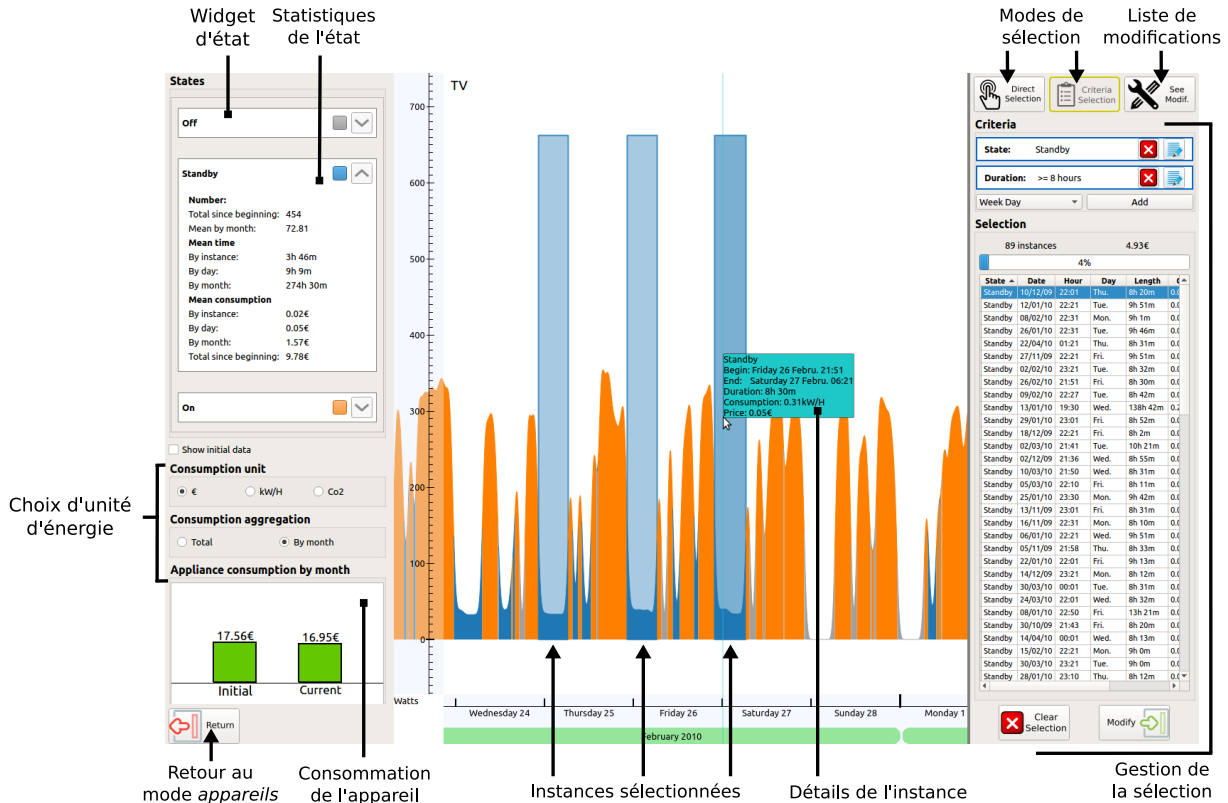


FIGURE 1: Interface du mode *instances* du système *Activelec* affichant les données d'une télévision. Les instances de l'état *Off* sont représentées en gris, celles de l'état *Standby* en bleu et celles de l'état *On* en orange sur la courbe de puissance au cours du temps. L'utilisateur a sélectionné toutes les instances de l'état *Standby* dont la durée est supérieure à 8 heures, tel que visible sur la droite. Trois de ces instances sont visibles sur la visualisation.

d'une brève description des fonctionnalités, la publication originale présentant le système de manière complète.

3.1 Principe

Le système *Activelec* utilise le principe du *What if*, signifiant que les utilisateurs peuvent tester et évaluer des changements de comportements vis-à-vis des appareils instrumentés. Ces changements de comportements sont effectués de manière virtuelle dans le système. Ce dernier fournit en effet des fonctionnalités de visualisation et de sélection des utilisations des appareils, et offre la possibilité de modifier ces utilisations. La visualisation de la consommation des appareils couplée à celle de leurs utilisations permet de mieux comprendre les liens entre ces deux éléments. Une fonctionnalité de sélection par critères temporels des utilisations d'appareils permet aux utilisateurs de définir un comportement à analyser ou modifier. Puis lorsqu'une modification est appliquée, l'utilisateur obtient un retour sur le gain réalisé et la visualisation est mise à jour.

Afin d'implémenter cette méthode *What if*, le système se base sur un modèle de données spécifique. Chaque appareil est associé à sa puissance instantanée au cours du temps, qui est mesurée directement ou simulée lorsqu'une modification est appliquée. Un ensemble d'états est également associé à chaque appareil, qui sont liés aux utilisations de l'appareil par les habitants du logement. Par

exemple, un ordinateur pourra être associé aux états *éteint*, *en veille* et *allumé*, et un lave-vaisselle aux états *éteint*, *lavage standard* et *lavage économique*. Les intervalles de temps correspondant à un état d'un appareil au cours du temps sont appelés les instances de cet état.

3.2 Interface

Le système possède deux modes d'interaction. Le mode *appareils* permet d'analyser et de comparer la consommation de tous les appareils du logement. Pour cela les courbes de tous les appareils sont affichées sur la même visualisation, et leur consommation totale d'énergie est également disponible. Le mode *instances* permet d'appliquer la méthode *What if* sur un appareil particulier. Dans ce mode, l'aire sous la courbe de puissance instantanée de l'appareil est colorée avec la couleur correspondant à l'état de l'appareil au cours du temps, comme le montre la Figure 1. Ce mode permet de sélectionner des utilisations de l'appareil selon des critères temporels puis de modifier ces utilisations. L'unité d'énergie utilisée pour les consommations des appareils ainsi que les gains réalisés lors des modifications est choisie par l'utilisateur parmi les euros, les kWh et la quantité de CO₂ émise équivalente. Cette unité est modifiable à tout instant dans l'interface.

3.3 Sélection

Afin d'obtenir des informations sur les utilisations d'un appareil (par exemple leur consommation ou leur durée d'utilisation) il est possible pour l'utilisateur de sélectionner les instances qui leur sont associées. Cette sélection permet également de leur appliquer une modification par la suite. Deux types de sélections sont fournies aux utilisateurs. Le premier est la sélection directe, qui permet de sélectionner les instances directement en cliquant sur l'aire correspondante sous la courbe de l'appareil. Le second type est la sélection par critères, grâce à laquelle l'utilisateur définit des critères temporels sur les instances afin de les sélectionner. Les critères de sélection disponibles sont l'état de l'appareil, la durée, l'heure de la journée et le jour de la semaine. Ces critères peuvent être combinés, il est ainsi possible de sélectionner les instances d'une télévision dont l'état est *en veille* et qui durent plus de 8 heures, comme sur la Figure 1. Il est également possible de sélectionner un sous-ensemble des instances sélectionnées en appliquant une fréquence, par exemple en ne sélectionnant qu'une instance de veille sur deux.

3.4 Modifications

L'utilisateur peut appliquer une modification sur un ensemble d'instances sélectionnées. Trois types de modifications sont disponibles. La première est le changement de l'état des instances, qui permet de modifier l'utilisation de l'appareil. Il est par exemple possible de modifier des instances d'un état *en veille* d'un ordinateur en état *éteint*, ce qui correspond en tant que modification réelle à une extinction de l'ordinateur au lieu d'une mise en veille. Un autre exemple concret est le changement des instances de l'état *lavage normal* à l'état *lavage économique* d'un lave-linge. Lors d'une modification d'état, de nouvelles données de consommation sont simulées afin de remplacer celles des instances modifiées, et ainsi mettre à jour la visualisation. Le second type de modification est la limitation de durée des instances, qui permet par exemple de limiter l'utilisation d'une télévision à une durée de 3 heures. Enfin le troisième type de modification est similaire au deuxième, puisqu'il permet l'extinction de l'appareil à partir d'une certaine heure de la journée. Cette modification permet par exemple d'éteindre un appareil à partir de 23 heures, ce qui correspond en termes d'utilisations réelles à l'éteindre au lieu de le laisser allumé la nuit.

3.5 Extraction du modèle

Les états des appareils sont définis manuellement dans une application dédiée, différente du système lui-même. Les instances de ces états sont extraites automatiquement selon des algorithmes de seuil sur la puissance et la consommation d'énergie des utilisations des appareils. Ces seuils associés aux états sont définis manuellement dans l'application dédiée. Ces algorithmes simples donnent des résultats suffisants dans le cadre de l'expérimentation. Le système *Activelec* a été modifié par rapport à sa version initiale pour être compatible avec une utilisation in-situ. Il peut désormais récupérer les données de consommation des appareils depuis une base de données et extraire leurs instances directement dans le système lui-même. L'utilisateur peut demander la mise à jour des données à tout moment, ce qui permet l'utilisation du système dans un contexte domestique quotidien.

4 EXPÉRIMENTATION

Cette section présente l'expérimentation menée, dans laquelle le système *Activelec* est installé dans des logements personnels.

4.1 Limitations des études en laboratoire

Le système *Activelec* et avec lui l'approche *What if* appliquée à la visualisation de la consommation électrique ont été testés avec succès lors de deux expérimentations en laboratoire [3]. Dans la première expérimentation, les participants utilisaient tous les mêmes données réelles, mais qui ne leur étaient pas personnelles. Dans la seconde, les participants utilisaient leurs propres données. Ces deux expérimentations étaient nécessaires afin d'évaluer l'utilisabilité du système, mais elles ont des limitations. Tout d'abord, le contexte d'utilisation est différent d'une utilisation chez soi. Aussi le temps d'utilisation du système était de 30 minutes environ au cours des expérimentations menées, et ce en une seule fois. Nous n'avons ainsi pas pu évaluer les conséquences d'une utilisation répétée du système sur les modifications trouvées, ainsi que sur la manière dont le système était utilisé. Enfin nous n'avons pas pu étudier l'application des modifications en vrai par les utilisateurs, ou même leur volonté de les appliquer. Une expérimentation *in-situ* est donc nécessaire pour combler ces limitations.

4.2 Objectifs

Dans cet article nous présentons le déploiement in-situ de ce système dans des logements personnels, et l'évaluation de la pertinence de cette approche *What if* en contexte domestique réel. Le premier objectif est donc de recueillir les impressions des utilisateurs sur l'approche *What if* de manière générale, qui devrait leur permettre d'analyser leur comportement ainsi que la consommation de leurs appareils électriques. Cette approche devrait également leur permettre de trouver des actions concrètes à réaliser afin de diminuer leur consommation. Prouver un changement de comportement nécessite une étude de long terme et relève d'avantage de la psychologie environnementale que de l'IHM [16]. Ainsi dans cette expérimentation nous ciblons avant tout l'étude de l'interaction avec le système. Toutefois nous commentons les modifications trouvées par les utilisateurs et les mettons en relation avec les utilisations observées dans les données réelles.

L'expérimentation permet également l'évaluation de la conception du système en lui-même. La conception des systèmes eco-feedback a en effet une grande influence sur leur efficacité [26]. Nous évaluons particulièrement la visualisation et les moyens d'interaction, qui doivent permettre aux utilisateurs de trouver et d'appliquer leurs scénarios de changement dans l'utilisation des appareils. Aussi ce déploiement du système en conditions réelles permet d'évaluer la pertinence du modèle de données utilisé, et plus particulièrement sa capacité à modéliser de façon réaliste les utilisations des appareils. Enfin nous évaluons la capacité du système à être utilisé en pratique avec du matériel ne nécessitant ni un investissement important ni une installation complexe.

4.3 Matériel

Le déploiement du système *Activelec* nécessite l'installation de matériel permettant la récolte des données de consommation des

Logement	Participants	Appareils instrumentés
Logement 1	P1 et P2 (couple)	Télévision Ordinateur Lave-linge Cafetière
Logement 2	P3 (seul)	Ordinateur Chaîne hi-fi Lampe de chevet Lave-linge Four micro-ondes
Logement 3	P4 et P5 (couple)	Télévision Ordinateur Lampes de bureau Lave-linge Bouilloire Four micro-ondes

TABLE 1: Nombre de participants et appareils instrumentés pour chaque logement de l'expérimentation.

appareils électriques. Pour cela nous utilisons des prises de mesure *Fibaro Wall Plug* [14] qui transmettent la puissance instantanée des appareils. Ces prises ayant une puissance maximale limitée, nous utilisons également une prise de mesure *Aeon Smart Switch* [2] pour mesurer la consommation des lave-linges. La capture de données se fait avec une fréquence d'environ 5 secondes. Nous utilisons un *Raspberry Pi 3* [29] sur lequel est installé le logiciel libre *Domotiga* [11] en guise de système domotique, qui reçoit les données des prises et les stocke dans une base de données. Le matériel est prêté aux participants durant l'expérimentation. Le système *Activelec* est quant à lui installé sur un ordinateur personnel des participants.

4.4 Logements, participants et appareils

Trois logements comprenant au total cinq participants (deux couples et une personne seule) participent à l'expérimentation. Nous choisissons d'instrumenter un sous-ensemble d'appareils électriques dans chaque logement. Les compositions des logements et les appareils instrumentés sont présentés dans la Table 1. Les appareils instrumentés sont des lumières, appareils de cuisine, lave-linges et appareils multimédia. Nous n'instrumentons pas les systèmes de chauffage et les réfrigérateurs qui ne sont pas supportés par le système *Activelec*. En effet leur consommation dépend de paramètres externes, principalement la température, qui ne sont pas pris en compte dans le modèle de données utilisé. Le but étant d'étudier l'interaction avec les appareils individuels instrumentés, nous ne récoltons pas la consommation totale du logement.

Les logements sont tous des appartements dont la superficie est inférieure à 50m². Pour cette expérimentation nous ciblons une population d'utilisateurs habitués à l'utilisation de moyens informatiques et ayant un minimum de capacités en visualisation, mais qui ne sont experts ni en visualisation ni en consommation électrique. Le système *Activelec* repose en effet sur une méthode d'analyse de données via une visualisation de la consommation. Cette restriction de population est de plus nécessaire pour l'étude des systèmes *eco-feedback* [17, 22]. En effet, un grand nombre de facteurs influencent l'efficacité de ces systèmes, et en particulier

les capacités de l'utilisateur. Afin d'évaluer les capacités en visualisation des utilisateurs, nous leur demandons s'ils sont capables et s'ils ont l'habitude d'utiliser des visualisations de type graphiques en courbe et diagrammes en bâtons. Les participants sont des doctorants recrutés à l'université qui correspondent à la population ciblée. Selon un questionnaire préalable les participants sont motivés par les économies d'énergie mais n'ont pas de connaissances approfondies du domaine de la consommation d'électricité. Plus précisément, ils savent différencier puissance et énergie et peuvent classer des appareils communs selon leur consommation (ampoules basse consommation, télévision, chauffage) mais ne connaissent pas leurs ordres de grandeur de consommation, ni en kWh ni en euros.

4.5 Protocole

Nous présentons ici le protocole de l'expérimentation qui comprend trois étapes. Au total la durée de l'expérimentation est d'environ deux mois.

Récolte de données initiale. Une visite préalable chez les participants est effectuée par un expérimentateur. Lors de cette visite les appareils à instrumenter sont choisis par l'expérimentateur et le matériel de récolte de données est installé. Des questions sur les types d'utilisation des appareils sont posées aux participants afin de pouvoir définir leurs états dans le système *Activelec* (voir section 3). La définition des états des appareils est effectuée par l'expérimentateur. Ces états ne sont pas notifiés aux participants qui les découvrent lors de l'installation du système dans la phase suivante. Pour que les participants puissent effectuer une analyse efficace et aussi pour pouvoir appliquer des modifications dans le système *Activelec*, il est nécessaire de récolter une quantité minimale de données. Ainsi lors de cette première phase, nous installons uniquement le matériel de récolte et les participants n'ont pas accès aux données de consommation mesurées. Cette phase de récolte dure trois semaines.

Utilisation du système. A la fin de la première phase le système *Activelec* est installé par un expérimentateur sur un ordinateur personnel des participants. L'installation est suivie d'une étape d'apprentissage d'environ 20 minutes. Nous utilisons des données de consommation d'appareils électriques ne provenant pas du logement lors de cette phase. Durant la première partie de cette étape d'apprentissage les participants découvrent le système et ses fonctionnalités grâce aux explications de l'expérimentateur. Puis les participants reproduisent deux modifications données par l'expérimentateur sur deux appareils différents en guise d'exercice. Avant de conclure l'étape d'apprentissage nous demandons aux participants s'ils ont des questions supplémentaires. Les participants sont ensuite libres d'utiliser le système à leur souhait pendant une durée comprise entre trois et quatre semaines.

Entretien final. Lorsque la phase d'utilisation du système est terminée, un entretien semi-structuré d'une durée d'environ une heure est conduit avec les participants. Cet entretien porte sur l'utilisabilité du système et de la méthode *What if*, le ressenti des utilisateurs et les modifications dans l'utilisation des appareils trouvées par les participants. En particulier nous demandons aux participants si des modifications trouvées grâce au système ont été appliquées

dans leur quotidien. Nous leur demandons également leur avis sur chaque élément de conception du système : décomposition des données des appareils en états et instances, visualisation, techniques de sélection et modifications. Nous analysons ensuite les réponses des utilisateurs. En particulier nous récoltons les modifications que les participants souhaiteraient appliquer en réalité, les éléments de conception qu'ils ont le plus apprécié et les limitations du système qu'ils ont indiqué.

5 RÉSULTATS

Nous présentons dans cette section les résultats de l'expérimentation. Ceux-ci sont tirés des logs d'utilisation depuis lesquels nous extrayons les modifications appliquées ainsi que toutes les interactions réalisées. Nous présentons également les résultats de l'entretien final.

5.1 Utilisations

Nous extrayons les temps d'utilisation du système des logs, qui sont présentées aux utilisateurs afin de les confirmer lors de l'entretien final. Dans le logement 1, le système a été utilisé quatre fois. La première fois pour une durée d'environ une heure, puis les autres fois pour une durée comprise entre 15 et 20 minutes. Dans le logement 2, le système a été utilisé trois fois, pour une durée de 45 minutes la première fois et d'une durée comprise entre 15 minutes et 20 minutes pour les autres fois. Dans le logement 3 le système a également été utilisé trois fois pour des durées respectives de 5, 15 et 20 minutes. Les participants des deux premiers logements ont donc utilisé le système plus longtemps lors de la première utilisation. En effet, les participants passent du temps lors de leur première utilisation pour découvrir leurs appareils et tester des modifications. Lors des utilisations suivantes les participants ne trouvent que peu de modifications. Comme dit par P3 : "J'avais trouvé toutes mes modifications lors de la première utilisation. Je l'ai utilisé une ou deux fois ensuite pour essayer d'en trouver d'autres, mais je n'en ai pas ajouté." Toutefois les participants du logement 3 ont utilisé le système rapidement une première fois pour le découvrir, puis ont recherché des modifications lors des utilisations suivantes.

5.2 Modifications appliquées

Nous extrayons toutes les modifications testées dans le système *Activelec* à partir des logs. Puis lors de l'entretien final nous demandons aux participants si certaines de ces modifications ont été ou seront potentiellement appliquées en vrai sur leurs appareils. Ces dernières sont présentées dans la Table 2.

Dans le logement 1, 21 modifications différentes ont été testées. L'ordinateur, qui est l'appareil le plus consommateur mesuré dans ce logement, a fait l'objet du plus grand nombre de modifications (13 modifications). Parmi toutes ces modifications, 5 ont été identifiées comme voulant être ou étant appliquées en vrai. Dans ce logement, P2 utilisait l'ordinateur pour des calculs scientifiques au moment de l'expérimentation (état *calcul* dans le tableau), ce qui consomme beaucoup d'énergie. Les participants ont donc voulu estimer le gain réalisé si ces calculs n'étaient pas effectués sur l'ordinateur. Les participants se sont également rendu compte du potentiel d'économie de l'extinction (ou même de la mise en veille) de l'ordinateur

Logement	Appareil	Modifications	Gain
1	Ordinateur	<i>Calcul</i> → <i>Allumé non utilisé</i>	37%
		<i>Calcul limité</i> à deux heures	45%
		<i>Allumé non utilisé</i> → <i>Eteint</i>	21%
	Cafetière	<i>Allumée limitée</i> à 10 minutes	7%
	Lave-linge	<i>Lavage à 40°</i> → <i>Lavage à 30°</i>	22%
2	Ordinateur	<i>En veille</i> → <i>Eteint</i> si durée > 3 heures	2%
	Chaîne Hi-fi	<i>En veille</i> → <i>Eteint</i> de 22h à 8h du lundi au vendredi	7%
		<i>En veille</i> → <i>Eteint</i> si durée > 3 heures	20%
		<i>En veille</i> → <i>Eteint</i>	8%
3	Ordinateur	<i>En veille</i> → <i>Eteint</i>	44%
	Télévision	<i>En veille</i> → <i>Eteint</i> de 0h à 17h du lundi au vendredi	12%
		<i>En veille</i> → <i>Eteint</i> de 0h à 12h samedi et dimanche	

TABLE 2: Modifications appliquées dans le système par les participants et déclarées appliquées ou voulant être appliquées en vrai sur les appareils. Le gain est estimé dans le système *Activelec* et correspond au pourcentage de la consommation de l'appareil.

lorsque celui-ci est allumé sans être utilisé, ce qui a pu être modélisé dans le système. Ces modifications n'ont pas été appliquées pendant l'expérimentation mais les participants ont déclaré vouloir l'appliquer en vrai par la suite. Enfin les participants ont déclaré avoir appliqué la modification sur le lave-linge présente dans le tableau.

Dans le logement 2, P3 a testé un total de 8 modifications sur les appareils, parmi lesquelles 3 ont été déclarées ayant été appliquées lors de l'expérimentation. Ces modifications ciblent l'ordinateur et la chaîne hi-fi, qui restent en veille lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Or si l'ordinateur consomme peu en veille, ce n'est pas le cas de la chaîne hi-fi. P3 a déclaré avoir appliqué ces modifications en vrai sur ses appareils. Elles sont visibles sur les données de consommation de la chaîne hi-fi, avec une baisse significative de 45% de la consommation par rapport au début de l'expérimentation.

Dans le logement 3, les participants ont testé un total de 9 modifications sur les appareils. Parmi ces modifications, les participants ont déclaré avoir l'intention d'en appliquer 3 par la suite sur leurs appareils. Ces modifications visent la télévision et l'ordinateur fixe, qui sont en veille en permanence lorsqu'ils ne sont pas utilisés, et la veille de ces appareils consomme beaucoup. En particulier les participants envisagent l'installation d'un programmeur permettant d'éteindre automatiquement la télévision pour éviter les périodes de veille.

5.3 Consommation

Les modifications choisies par les participants et dont l'application est considérée permettraient d'économiser une moyenne de 30% de l'énergie des logements. Cette économie serait de 59% pour le logement 1, 6% pour le logement 2 et 24% pour le logement 3. Ce résultat est relativement important, même si nous devons insister sur le fait que ces modifications ne seront pas forcément appliquées réellement. Pour rappel, les pourcentages d'économies réalisables obtenus lors des deux expérimentations précédentes que nous avons mené en laboratoire sont respectivement de 36% et 14%. Rappelons que les systèmes *eco-feedback* permettent une économie réelle comprise entre 5% et 23% (voir section 2). De plus, la différence entre les économies réalisables entre les participants semble liée à leurs différences dans l'utilisation du système. Les participants du logement 1 ont ainsi utilisé le système plus de fois et plus longtemps, et ont appliqué plus de modifications, ce qui pourrait expliquer une économie supérieure aux autres logements.

Les modifications appliquées ne sont dans l'ensemble pas visibles sur la consommation des appareils instrumentés. Celle-ci est variable et a par exemple tendance à augmenter pendant les périodes de vacances. Aussi nous n'instrumentons pas la consommation totale du logement et ne pouvons donc pas analyser sa variation. L'étude de la variation de consommation n'est toutefois pas le but de cette expérimentation. Nous nous concentrons en effet sur les modifications trouvées et l'interaction avec le système. Cependant les modifications appliquées par P3 sur la chaîne hi-fi entraînent une diminution de consommation visible dans les données.

5.4 Ressenti utilisateur

Nous analysons ici les réponses des participants vis à vis de leur ressenti général et des moyens d'interaction. Tous les participants ont trouvé le système utile. En particulier, le système *Activelec* leur a permis de trouver des modifications à appliquer et d'évaluer les économies potentielles de ces modifications. Selon les réponses au questionnaire, le système a permis aux participants d'analyser leur utilisation des appareils, leur consommation ainsi que les liens entre ces deux éléments. Certains participants ont été surpris de la consommation de leurs appareils. Par exemple les habitants du logement 1 ont constaté que la télévision consommait peu, tandis que l'ordinateur consommait en comparaison une quantité d'énergie considérable lorsqu'il était allumé et non utilisé. Les participants ont également insisté sur l'utilité des comparaisons entre les différents appareils. Celles-ci leur ont permis de se représenter les ordres de grandeur de consommation, et de se concentrer sur les appareils les plus consommateurs. Par exemple P3 a remarqué que l'état *veille* de son micro-ondes consommait 40% de l'énergie de ce dernier, mais cette consommation est négligeable à côté de celle de l'ordinateur. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus lors des expérimentations précédentes menées en laboratoire, dans lesquelles les participants avaient également trouvé des changements pertinents et appliqué d'avantage de modifications sur les appareils les plus consommateurs.

Les participants des logements 1 et 2 ont déclaré qu'ils n'auraient pas pensé à installer et utiliser le système par eux-mêmes, tandis que ceux du logement 3 ont déclaré qu'ils l'auraient installé par eux-mêmes. P1 et P2 (logement 1) étaient motivés pour utiliser le

système au début de l'expérimentation. Ils ont déclaré : "nous étions motivés au début car il y avait un effet de nouveauté. Mais ensuite nous n'avions pas beaucoup de temps pour l'utiliser, et aussi nous avons trouvé toutes les modifications possibles." De même tous les participants ont eu l'impression d'avoir peu utilisé le système par manque de temps. Ce problème de motivation et surtout de maintien de la motivation est connu et inhérent au domaine de l'*eco-feedback* [4, 13, 27].

La durée d'utilisation du système, plus longue que lors des expérimentations en laboratoire, ainsi que les utilisations répétées ont permis d'obtenir plus d'informations sur l'appréciation du système par les participants. Dans l'ensemble la conception du système a été appréciée. Par exemple, P3 a déclaré : "Ça fait le job. L'interaction est bien pour trouver les modifications, je ne vois pas trop ce qui pourrait être amélioré." P4 et P5 ont en particulier apprécié la sélection par critères et l'affichage des instances sélectionnées en temps réel. Toutefois, P1 et P2 ont trouvé que ce système de sélection par critères pouvait devenir complexe : "C'est très bien pour appliquer des sélections simples, par exemple un lavage sur trois. Mais si on combine plusieurs critères ça peut devenir complexe pour se le représenter." Les participants ont tous apprécié et trouvé utile la visualisation des états des appareils au cours du temps couplée à celle de leur consommation. De même pouvoir choisir l'unité d'énergie utilisée a aidé les participants, qui ont dans l'ensemble préféré utiliser le prix. Ceci indique une tendance pour la motivation économique parmi les participants, qui peut toutefois entraîner la dépense des économies dans des achats ou activités polluantes [23]. Ils ont également indiqué que les sélections et modifications permettaient de comprendre davantage les liens entre comportement et consommation qu'avec la visualisation seule, ce qui montre l'importance de l'interaction avec le comportement. Enfin, la sélection directe a été très peu utilisée ; les participants ne l'ont utilisée que pour tester le fonctionnement des modifications.

6 DISCUSSION

6.1 Application du *What if*

Les participants ont testé un nombre relativement important de modifications (31 au total) lors de la phase d'utilisation du système *Activelec*. Cela montre que les participants ont pu facilement tester des modifications, tout comme lors des études précédentes que nous avons menées en laboratoire. Les participants ont également pu évaluer l'impact de ces modifications sur leur consommation, et ainsi jauger le compromis entre effort à fournir pour appliquer la modification en vrai et économie réalisée. Par exemple, dans le logement 1 les participants ont renoncé à éteindre la télévision au lieu de la laisser en veille, ce qui réclame un effort conséquent alors que la veille de cette télévision consomme peu. En revanche dans le logement 3 les participants ont décidé d'appliquer les modifications trouvées sur la télévision en raison des économies importantes. Cette différence montre l'importance de la prise en compte des appareils et des préférences des utilisateurs pour trouver des modifications efficaces et acceptées. *Activelec* s'est également montré utile pour évaluer des modifications déjà envisagés par les participants. Ceux-ci envisageaient par exemple d'éteindre les appareils en veille mais n'avaient pas conscience des économies réalisables.

Ces résultats montrent que le système et au-delà la méthode *What if* sont une solution à la limitation la plus importante des systèmes eco-feedback, qui est la difficulté à trouver des changements de comportement concrets [4, 5, 30].

6.2 Appréciation des participants

Dans l'ensemble, les appréciations des participants sont similaires à celles obtenues en laboratoire, mais l'utilisation prolongée du système nous a permis d'obtenir des informations détaillées sur son utilisation et son appréciation par les utilisateurs. Les résultats de l'expérimentation montrent que le paradigme *What if* utilisé a été apprécié par les participants. Ceux-ci ont en effet trouvé utile les visualisations, les méthodes de sélection ainsi que l'application des modifications sur les utilisations des appareils. Les participants ont explicitement indiqué que la possibilité de tester des modifications apportait un plus par rapport à la visualisation seule. De plus les appareils les plus consommateurs ont été davantage analysés par les participants. Par exemple les ordinateurs ont fait l'objet d'un temps d'interaction et d'un nombre de modifications plus important que les lumières. Ce résultat confirme que le système *Activelec* permet aux utilisateurs de comparer les appareils et de se concentrer sur les plus consommateurs.

6.3 Déploiement de *Activelec*

Le déploiement de *Activelec* dans les logements est une réussite en soi. Hormis quelques problèmes techniques mineurs, le système a pu récupérer les données de consommation et extraire les utilisations des appareils directement depuis les prises connectées. Il est donc possible de l'utiliser dans un contexte domestique sans installation complexe ou coûteuse. Toutefois une extension du modèle de données ainsi que du matériel supplémentaire seraient nécessaires afin de pouvoir étendre la méthode à d'autres sources de consommation, par exemple le chauffage ou la consommation d'eau.

Le modèle de données utilisé par le système s'est révélé adapté à une utilisation réelle. Les participants ont en effet apprécié la visualisation au cours du temps des utilisations des appareils, et ont trouvé les décompositions des appareils en états choisies par les auteurs cohérentes. L'étape suivante serait de permettre aux utilisateurs de réaliser facilement eux-mêmes ce choix des états des appareils, voire de le faire automatiquement selon une base de données d'appareils pré-enregistrée.

6.4 Améliorations

Cette expérimentation a également permis de révéler des limitations du système *Activelec* et de la méthode *What if* implémentée par celui-ci. Tout d'abord, la sélection directe des instances a été peu utilisée par les participants. Il semble donc nécessaire de revoir cette sélection et éventuellement de la fusionner avec la sélection par critères. Nous envisageons en effet une fonctionnalité permettant d'inférer les critères de sélection à partir d'une sélection d'instances manuelle. L'utilisateur pourrait par exemple sélectionner manuellement les instances de lavage en machine le week-end, ce qui mènerait à une sélection dont les critères seraient *lavage standard* et *week-end*.

Si des études précédentes ont montré que les visualisations de consommation d'énergie avec de l'interaction mènent à de meilleurs

résultats que les systèmes ambiants [15], celles-ci demandent un engagement de la part des utilisateurs. Ainsi dans notre étude tous les participants ont indiqué ne pas avoir utilisé davantage le système par manque de temps. Aussi, les participants n'ont pas vérifié si les modifications appliquées en pratique sur leurs appareils avaient entraîné une baisse effective de leur consommation. Ces deux observations nous amènent à envisager un affichage ambiant placé dans l'environnement de l'utilisateur. Celui-ci serait relié au système *Activelec* et permettrait de rappeler les modifications de comportement envisagées. Cette affichage pourrait également montrer les économies réalisées depuis l'application des modifications par l'utilisateur. Aussi nous envisageons un nouveau mode d'interaction pour *Activelec* qui permettrait de suivre l'évolution des données depuis l'application d'un changement d'utilisation des appareils.

6.5 Implications pour l'eco-feedback

Le déploiement réussi de *Activelec* montre que la méthode *What if* est applicable en pratique. Cette méthode a été appréciée des utilisateurs, car elle apporte des moyens d'interaction plus intéressants que la simple exploration de données. Ces résultats montrent que la méthode *What if* est à considérer dans le domaine de l'eco-feedback. Il serait donc naturel de poursuivre les expérimentations sur cette méthode après avoir appliqué les améliorations précédemment présentées. Des expérimentations plus longues et comprenant davantage de logements permettraient d'étudier l'application en pratique des modifications choisies.

7 CONCLUSION

Dans cet article nous présentons une expérimentation sur l'application d'une méthode *What if* à l'eco-feedback, menée dans des logements personnels. Pour cela nous déployons le système *Activelec* dans trois logements pour une durée d'environ un mois. Le déploiement en soi est une réussite, montrant que le système est applicable en pratique. Les participants ont apprécié les interactions fournies par le système et de manière générale la méthode *What if* proposée. Celle-ci leur a en effet permis de tester dans le système des changements dans l'utilisation de leurs appareils qui leur permettraient d'économiser de l'énergie. Les participants ont également affirmé avoir appliqué certaines de ces modifications en pratique. S'il est nécessaire d'approfondir les expérimentations sur l'utilisation du système et notamment d'envisager des améliorations, ces résultats sont prometteurs et montrent que la méthode *What if* est à considérer dans le cadre de la visualisation de la consommation d'énergie.

RÉFÉRENCES

- [1] ADEME. 2015. Chiffres clés Climat, Air et Énergie. (2015).
- [2] Aeon. 2018. Aeon Smart Switch. <https://aeotec.com/z-wave-plug-in-switch>. (2018). Accédé le 18-04-2018.
- [3] Anonyme. 2018. What if we use the "What if" Approach for Eco-Feedback? Designing an Electricity Consumption Analysis for Layman Users. In *Workshop EnviroVis - Visualization in Environmental Sciences, IEEE EuroVis 2018*. Brno, Czech republic.
- [4] L. Bartram. 2015. Design Challenges and Opportunities for Eco-Feedback in the Home. *Computer Graphics and Applications, IEEE, Volume :35, Issue :4* (2015).
- [5] Kathryn Buchanan, Riccardo Russo, and Ben Anderson. 2014. Feeding back about eco-feedback : How do consumers use and respond to energy monitors? *Energy Policy* 73 (2014), 138 – 146.

- [6] Gaëlle Calvary, Thierry Delot, Florence Sèdes, and Jean-Yves Tigli. 2012. *Informatique et Intelligence Ambiante : des Capteurs aux Applications (Traité Informatique et Systèmes d'Information, IC2)*. Hermes Science.
- [7] Nico Castelli, Corinna Ogonowski, Timo Jakobi, Martin Stein, Gunnar Stevens, and Volker Wulf. 2017. What Happened in My Home? : An End-User Development Approach for Smart Home Data Visualization. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. ACM, New York, NY, USA, 853–866. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/3025453.3025485>
- [8] E. K. Choe, B. Lee, and m. schraefel. 2015. Characterizing Visualization Insights from Quantified Selfers' Personal Data Presentations. *IEEE Computer Graphics and Applications* 35, 4 (July-Aug. 2015), 28–37. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/MCG.2015.51>
- [9] 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>
- [10] S Darby. 2006. The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption. A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays. 22 (01 2006), 1–21.
- [11] DomotiGa. 2018. <https://www.domotiga.nl/projects/domotiga/wiki/Home>. (2018). Accédé le 18-04-2018.
- [12] Karen Ehrhardt-Martinez, K.A. Donnelly, and John Laitner. 2010. Advanced metering initiatives and residential feedback programs : a meta-review for household electricity-saving opportunities. (01 2010).
- [13] 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>
- [14] Fibaro. 2018. Fibaro Wall-plug. <https://www.fibaro.com/fr/products/wall-plug/>. (2018). Accédé le 18-04-2018.
- [15] Corinna Fischer. 2008. Feedback on household electricity consumption : a tool for saving energy? *Energy Efficiency* 1, 1 (2008), 79–104. DOI : <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-008-9009-7>
- [16] 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>
- [17] Flavia Gangale, Anna Mengolini, and Ijeoma Onyeji. 2013. Consumer engagement : An insight from smart grid projects in Europe. *Energy Policy* 60 (2013), 621–628. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.031>
- [18] S. Goodwin, J. Dykes, S. Jones, I. Dillingham, G. Dove, A. Duffy, A. Kachkaev, A. Slingsby, and J. Wood. 2013. Creative User-Centered Visualization Design for Energy Analysts and Modelers. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 19, 12 (Dec 2013), 2516–2525.
- [19] Tom Hargreaves, Michael Nye, and Jacquelin Burgess. 2010. Making energy visible : A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors. *Energy Policy* 38, 10 (2010), 6111 – 6119. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.068> The socio-economic transition towards a hydrogen economy - findings from European research, with regular papers.
- [20] D. Huang, M. Tory, B. Adriel Aseniero, L. Bartram, S. Bateman, S. Carpendale, A. Tang, and R. Woodbury. 2015. Personal Visualization and Personal Visual Analytics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 21, 3 (March 2015), 420–433. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2014.2359887>
- [21] Institute for Climate Economics / Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer. 2017. Chiffres clés du climat France et Monde. (2017).
- [22] Adnane Kendel, Nathalie Lazaric, and Kevin Maréchal. 2017. What do people 'learn by looking' at direct feedback on their energy consumption? Results of a field study in Southern France. *Energy Policy* 108 (2017), 593 – 605. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.020>
- [23] Bran Knowles, Lynne Blair, Stuart Walker, Paul Coulton, Lisa Thomas, and Louise Mullagh. 2014. Patterns of Persuasion for Sustainability. In *Proceedings of the 2014 Conference on Designing Interactive Systems (DIS '14)*. ACM, New York, NY, USA, 1035–1044. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2598510.2598536>
- [24] Ian Li, Anind K. Dey, and Jodi Forlizzi. 2012. Using Context to Reveal Factors That Affect Physical Activity. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 19, 1, Article 7 (may 2012), 21 pages. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2147783.2147790>
- [25] Zilu Liang, Bernd Ploderer, Wanyu Liu, Yukiko Nagata, James Bailey, Lars Kulik, and Yuxuan Li. 2016. SleepExplorer : A Visualization Tool to Make Sense of Correlations Between Personal Sleep Data and Contextual Factors. *Personal Ubiquitous Comput.* 20, 6 (Nov. 2016), 985–1000. DOI : <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-016-0960-6>
- [26] James Pierce, Chloe Fan, Derek Lomas, Gabriela Marcu, and Eric Paulos. 2010. Some Consideration on the (in)Effectiveness of Residential Energy Feedback Systems. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS '10)*. ACM, New York, NY, USA, 244–247. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1858171.1858215>
- [27] James Pierce, William Odom, and Eli Blevins. 2008. Energy Aware Dwelling : A Critical Survey of Interaction Design for Eco-Visualizations. *Human Factors* (2008), 1–8. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1517744.1517746>
- [28] Zachary Pousman, John Stasko, and Michael Mateas. 2007. Casual Information Visualization : Depictions of Data in Everyday Life. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 13, 6 (Nov. 2007), 1145–1152. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2007.70541>
- [29] Raspberry. 2018. Raspberry Pi 3. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. (2018). Accédé le 18-04-2018.
- [30] Yolande A.A. Strengers. 2011. Designing Eco-feedback Systems for Everyday Life. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*. ACM, New York, NY, USA, 2135–2144. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1978942.1979252>