

The structure of the energy data representation design space

Samuel Lacroix, Samuel Huron, Françoise Detienne

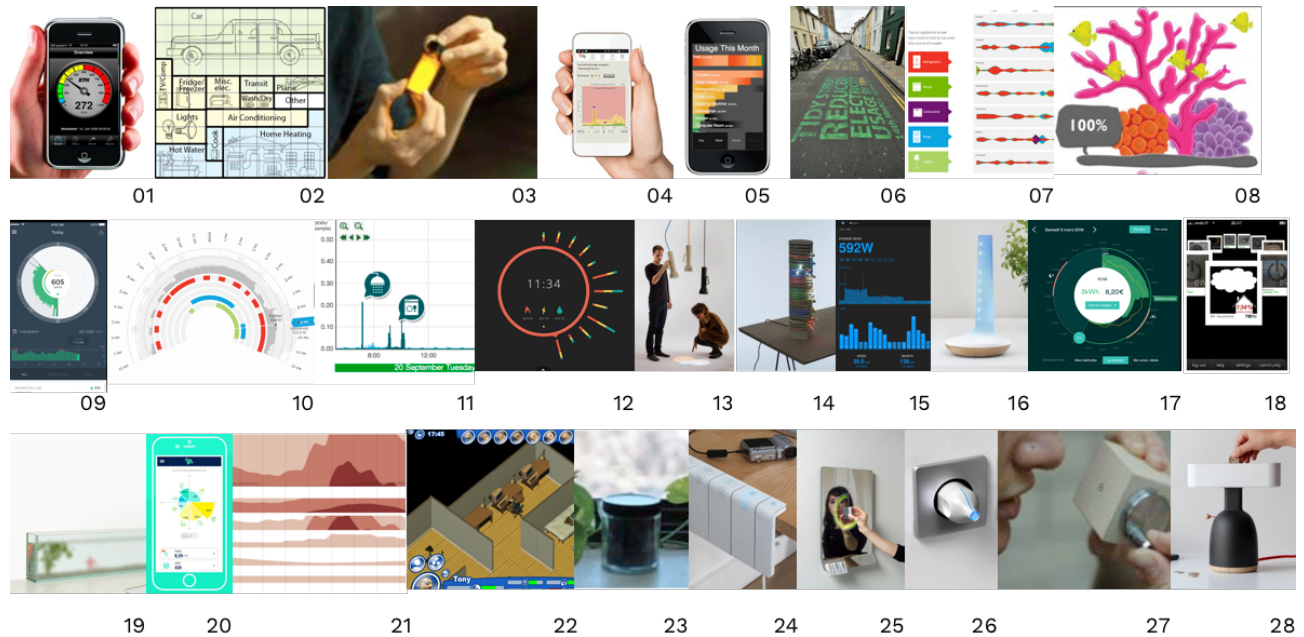


FIGURE 1. Dans l'ordre de lecture : Handy feedback [56], Household energy game [53], Shake light bottle [45], Loop energy [], Wattbot [40], Tidy street [4], Powering Kitchen [], Corallog [30], powerley [], Powering Kitchen [], Figure energy [10], Energy clock [], Watt-lite [27], Totem [], Emoncms [], Luminion [], My companion [], Energy life [18], Compteur vivant [], Wivaldy [], Data Sculpting [20], Power house [1], Light [45], Coupe Veille [], Switch [], Sémaphore [], Crank sound box [45], Dina [].

1 ABSTRACT

It is admitted in the literature that energy awareness and behaviour modification of users may significantly reduce consumption and preserve the earth [12]. However, some papers [] argue that eco-feedback devices designed to help users actually have only a limited impact. Power consumption does not decrease much [46] and is not permanent [].

In order to define the main issues related to this ineffectiveness, we have developed a Design Space of the existing eco-feedback devices. In this paper, we collected 100 artefacts from the academic, artistic, design and industrial fields. These artifacts are all designed for non electrical expert people. We suggest a Design Space that structures the analyzed data in 4 dimensions : users, information, devices, representation.

This article proposes 4 main findings : First, we found a continuum of user engagement. Second, we find a trade-off between the quantity of data used and the design of the device. Third, we identify 6 major types of devices : Dashboards, clocks, lamps, electrical terminals,

manifest objects and "constraining" objects . Fourth, we identified 4 useful criteria for evaluating these devices. The cross-analysis of these dimensions allows us to make relationships and identify useful criteria for the future design.

2 INTRODUCTION

Domestic energy consumption represent 28% [5] of energy consumption worldwide. According to the U.N. (United Nation) energy consumption is the dominant contributor to climate change (60 % of total global greenhouse gas emissions [36]). One big challenge to optimise our energy consumption and reduce our impact on the environment, is to empower people in their understanding and management of their energy consumption.

To reply to this challenge, during the last 40 years, significant development and research have been made on technology that provide abstract *energy data representation* to household consumers. These technology are at least composed by a data collection system and a representation systems. The hypothesis behind these technology is that providing the appropriate information and representation to energy consumers may increase their awareness and understanding of their everyday behaviours, and thus impact it.

Advances in this area are boosted by multiples factors, the increasing domain of eco-feedback [] and pervasive technology [], the increasing pressure to address this challenge [], the interest of energy providers to provide new information services [], the evolution of the market [], and the availability of technologies []. Researchers and designers have develop hundreds of prototypes to explore and nurture the field. It is not unusual at this stage of maturity, to reflect on what have

- E-mail: samuel.lacroix@telecom-paristech.fr
- Ed Grimley is with Grimley Widgets, Inc.. E-mail: ed.grimley@aol.com.
- Martha Stewart is with Martha Stewart Enterprises at Microsoft Research. E-mail: martha.stewart@marthastewart.com.

Manuscript received xx xxx. 201x; accepted xx xxx. 201x. Date of Publication xx xxx. 201x; date of current version xx xxx. 201x.
For information on obtaining reprints of this article, please send e-mail to: reprints@ieee.org.
Digital Object Identifier: xx.xxx/TVCG.201x.xxxxxx/

been designed, abstract a design space, and learn from the synthesis of the literature.

Despite the increasing amount of work in this domain multiple work are reflecting on what types of data should be used [], few are focus on the crucial aspect on how to design the representation of these data. However designing a efficient energy data representation raise many challenges among which we can list : 1) What task should be supported ? 2) What graphical, acoustical, physical encoding should represent which part of the data ? 3) Which devices are appropriate to embed these representations ? 4) What are the most efficient strategies ?

In this paper we investigate the design of energy consummation representation for domestic use with a specific focus on the data representation aspects. We use an empirical approach analysing papers, and representation from industrial, academic, and design projects. We collected and structure 100 examples. Our analysis identify specific dimensions of *energy data representation* including the user's tasks, designer's motivation, data represented, representation types and devices.

Based on the analysis of the representation we extract and describe six styles of *energy data representation* : dashboard, clocks, light based, electrical devices, constraint based, manifest objects. Based on the extraction of the tasks declared by the designer of these devices we present a tasks taxonomy structure around a engagement continuum.

3 RELATED WORK

An important literature reflects the interest of this topic during the last 20 years. Domestic energy visual representation have been explored from researcher in multiples domains such as psychology, sustainable human computer interaction, visualisation and Art and media design. We present a state of the art to helps us identify which structuring dimensions are required to build a Design Space.

3.1 Challenging factors to save energy

The electrical phenomenon is difficult to understand. According to some researchers [3, 19, 44] users are unable to interpret energy information because they lack the required knowledge. This section focuses on this question and attempts to identify the main characteristics about users energy literacy.

In 1982, Kempton and Montgomery [28] notice that simplified information devices induce quantification errors and inappropriate behaviour. According to them, it's difficult to make proper estimates of efficient energy savings. However, this observation is not only the result of the participants' lack of expertise.

Brounen et al [7] also observed a low energy literacy rate in a study of 1721 households. While half of the participants are aware of monthly costs, only a few are able to adopt more energy-efficient behaviours. The authors argue that these results are not only due to lack of knowledge but also demographic factors.

Furthermore, users have trouble correlating energy consumption data with their daily actions. Herrmann et al [24] observe that feedback devices do not reflect daily routine. Users cannot correlate the data with actions in the household. Pierce et al [48] were interested to the relationship between users and their domestic electrical appliances. The authors argue that users are not aware of the energy used because their habits are unconscious and irrational.

DeWaters et al [13] conduct a large survey with more than 3000 students. This survey reveals that despite a strong concern about the topic, few have the skills required to save energy.

According to DeWaters, energy-related behaviour is linked mainly by affect rather than knowledge. He advises the development of educational tools to educate children about energy saving.

Pierce et al. [] suggest the introduction of a new vocabulary : cutting, trimming, switching, upgrading and shifting. This new vocabulary, closer to actionable tasks, can help to design new devices.

Chisik et al [8] asked them to sketch electricity consumption. The researchers found that users pictures were biased by the types of appliances and their frequency of use. In 2018, Herrmann et al [25] re-

commend using data with lower granularity. The aggregated data as well as the time series are not suitable for the users.

SL: Dans l'article [44], Pierce et al identifient 4 raisons... 1. Les utilisateurs ne savent pas quelle est la consommation normale de leur logement (baseline). la valeur exprimée par le dispositif, sans référentiel, n'est pas suffisante pour engager un changement de comportement. 2. La prise de conscience de sa consommation n'est pas suffisant pour que l'utilisateur s'engage à changer de comportement

type of information demographic factors correlating data to actions keep appliance scale Tasks Affective aspect Visualisation [26]

3.1.1 User's needs

[21] [17] [9]

3.2 Energy Information Devices

3.3 Energy Information visualisation.

3.4 Taxonomies about this topic

4 DESIGN SPACE

4.1 selection criteria

Le domaine de la représentation de données électrique est extrêmement varié. Il s'adresse à des experts en énergie mais également à des consommateurs qui ne possèdent pas de connaissances dans le domaine. Nous désirons connaître les choix de conception de ces dispositifs.

Nous avons donc constitué un corpus d'artefacts répondant aux critères suivants : a) Ils proposent des représentations de données électriques pour b) des espaces personnels et qui c) s'adressent à des consommateurs sans expertise en électricité et en visualisation.

4.1.1 collecte

Nous avons élargi cette collecte à différents champs car cette thématique concerne des acteurs différents et que nous souhaitons comprendre leurs motivations intrinsèques. Nous avons donc effectué nos recherches dans le champ académique, dans le champ du design ainsi que le champ industriel.

1. **Champ académique** : Pour identifier des artefacts correspondants à nos critères de sélections, nous avons effectué nos recherches dans des conférences en IHM (CHI, VIZ, DIS, IHM, AVI), en ergonomie (pervasive, ECCE, ErgoIHM), informatique (ACE, CT), psychologie Environnementale (BE-HAVE). Nous avons effectué une recherche bibliographique non systématique sur les catalogues SPRINGER, ACM, ELSEVIER et Google SCHOLARS. Nous avons utilisé les mots clés suivant : Eco-Feedback, Energy information, Energy, Sustainability, Persuasive technologie, Environnemental HCI, Energy feedback, Sustainable HCI, Energy monitoring, In home Display, Smart meters. Cette méthode nous a permis d'identifier 187 articles.

2. **Design** : Nous avons recherché des projets dans différentes écoles de Design (ENSCI-les ateliers, RCA, ECAL, Polytechnique, STRATE), dans les publications des récompenses de design les plus prestigieuses (RedDot Awards, Audi talents Award, Copasso di Oro, Etoile de l'observateur, If design award), les événements (Fiera di Milano, IFA, , Helsinki design Week, London Design Festival, DMY, Paris design Week).

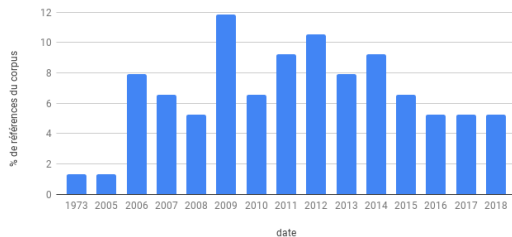
3. **Industriel** : Nous avons ciblé les événements thématiques proche de notre sujet de recherche : liés à l'environnement (COP 21, One Planet summit, Assises Européennes de la Transition Énergétique, Energy for Smart Mobility, Produrable), soit liés aux technologies (Las Vegas CES, Futur en Seine, Web Summit). Nous avons également engagé une discussion avec des énergéticiens au sein de la communauté rd d'EDF sur les thématiques suivantes (EcoFeedback, Energy Information, Energy Management, In home display, Energy Monitoring,...). Enfin, nous avons recherché des startups spécialisées dans les

questions énergétiques dans différents incubateurs comme par exemple la Station F (Paris).

4.1.2 filtrage des résultats

Au terme du travail de collecte, nous avons identifié plus de 250 références. Afin de réduire le nombre de référence et faciliter la tâche d'analyse, nous avons défini des critères de filtrage suivant :

1. L'artefact doit être au minimum une maquette fonctionnelle ou un prototype.
2. cas d'artefacts présentant des similitudes (type de dispositif, mode de représentation) nous choisissons celui qui est le mieux documenté par son auteur.



Cette étape de filtrage nous a permis de définir le corpus final. Il se compose de 100 artefacts. Ces références proviennent à 67% du domaine académique, à 20% du domaine du design et à 13% du domaine industriel. Nous n'avons pas défini de limites temporelles. La référence la plus ancienne date de 1973 et la plus récente de 2018. Nous remarquons un bond pour l'année 2006 (Les années où les références du corpus sont les plus représentées sont les années 2009, 2012 et 2014. Les trois dernières années, sont quant à elles stables.

4.2 defining the design space

~~Dans cet état de l'art, Nous avons sélectionné des systèmes de représentation énergétiques adressés à un public non-expert dans des espaces personnels. Nous avons recueilli 100 artefacts issues d'articles scientifiques, de projets de design ou des propositions industrielles.~~

Nous proposons de classer ces artefacts en 4 dimensions :

1. Les utilisateurs
2. Les informations
3. Les dispositifs
4. Les représentations

4.2.1 Les utilisateurs

Cette dimension présente les tâches des utilisateurs, les motivations pour chaque dispositifs.

motivations Une motivation de l'utilisateur est la raison pour laquelle il utilise le système.

tâches Une tâche est une action que le système permet de faire.

4.2.2 Les informations

Toutes les références du corpus diffusent de l'information. Les informations sont classées en deux catégories : les données représentées et les échelles auxquelles elles sont exprimées.

4.2.3 Données

Cette catégorie regroupe les données utilisées par les systèmes de diffusion de l'information. Nous comptabilisons 4 types de données : *Consommation*

Données relatives à la consommation domestique. Les unités sont exprimées en W (Watt) pour définir la puissance ou en kW/h pour définir la consommation sur une période d'une heure. Cette consommation est aussi exprimé en Unité monétaire.

Réseau énergétique

Cette catégorie rassemble les données énergétiques provenant de

l'extérieur du foyer mais qui sont proposées aux utilisateur. Elle servent généralement de référentiel pour évaluer sa propre consommation (comparaison avec des foyers similaires).

Autres Consommations

Certains références du corpus associent des informations sur la consommation de fluides autres que l'électricité. Généralement, il s'agit de la consommation d'eau et de gaz.

Contextuelle

Cette catégorie regroupe les données liées au contexte domestique. (heure, température, météo,...) *Fictive*

Cette catégorie regroupe l'ensemble des données simulées (prévisionnels, objectifs). Contrairement aux autres types de données, ces dernières renseignent l'utilisateur sur ses futures consommation et proposer de les anticiper.

4.2.4 échelles

Les données utilisées par les dispositifs du corpus sont exprimées à différentes échelles. Nous en dénombrons 4 types : spatiales, temporelles, et sociales, fréquence.

Spatiale

L'échelle spatiale permet de localiser les données dans l'espace : de l'objet électrique jusqu'au réseau national.

Temporel

L'échelle temporelle permet de situer les données dans le temps : Passé (historique), présente (actuelle) ou futures (prédictives).

Sociale

L'échelle sociale indique le nombre d'utilisateurs concernés par les données de consommation

Fréquence

Indication de la fréquence de rafraîchissement des données.

4.2.5 Dispositifs

La classe dispositifs regroupe des informations sur les types de devices utilisés, leurs localisation dans le foyer et les medium utilisés.

4.2.6 Devices

3 types de devices composent les références du corpus :

Dedicated device

Des appareils conçus spécifiquement pour la diffusion de l'information énergétique. L'affichage de ce type d'information est la fonction principale.

Common information device

Des appareils conçus pour l'affichage d'information et où l'information énergétique n'est qu'un canal parmi d'autres.

Transformed device

Objet du quotidien qui a évolué pour pouvoir diffuser de l'information énergétique.

Augmented device

Objet du quotidien sur lequel une fonction additionnelle a été greffée.

4.2.7 localisation

Cette catégorie décrit le lieu dans lequel le dispositif est implanté.

4.2.8 Medium

Les références utilisent 3 types de médium pour diffuser les informations.

Visualisation.

Les informations sont visibles sur un écran ou une surface 2D.

Physicalisation.

Les informations sont visibles sur le volume du dispositif en 3D.

Sonification.

Les informations sont entendues.

"Acoustic Sonifications are physical objects designed to make sounds that convey useful information about a dataset of some kind. Unlike other sonifications, they do not require a power supply, and the sounds are interactively produced in real time through physical interaction with the object".[2]

4.2.9 Représentations

4.2.10 Mode

Cette classe regroupe les différentes façons de visualiser l'information. Kosara et al. [31] présente la catégorie Informative Art comme une façon de représenter les informations situé entre des visualisations pragmatiques et des visualisations artistiques. Nous avons adapté ces différentes catégories dans le champ de l'énergie. Nous proposons 4 catégories : *textuel*, défini les cas où l'information est rendu sous forme textuelle. Par exemple, Patkov et al. [41] ont conçu *altruistic screen* : Une information sur l'impact futur des consommation d'un foyer mise en forme comme un journal.

pragmatique. Selon Kosara [31], The goal of pragmatic visualization is to explore, analyze, or present information in a way that allows the user to thoroughly understand the data. Nous avons identifié des variantes dans cette catégorie. C'est le cas par exemple des Embellished Charts qui mêlent des métaphores évocatrices avec des visualisations pragmatiques.

casual. Selon Pouzman [49] les casual visualisation sont adaptées dans des contextes où la tâche principale de l'utilisateur n'est pas la lecture de l'information. Il argumente que ce type de visualisations peut être perçue de façon périphérique. non-analytic, artistic, qualitative instead of quantitative, reflective, entertainment, awareness raising. Périphérie de la perception (visuelle) humaine Elle se place en complément des visualisations dont la tâche est l'analyse et ayant pour cibles des professionnels. Nous distinguons deux types : l'informative art et les visualisation artistique.

4.2.11 Visual encoding type

SH: Citer tamara Muzner

4.2.12 Métaphore

Parmi l'ensemble des dispositifs récoltés nous avons identifiés beaucoup de métaphores visuelles. Les métaphores visuelles ont été définies par Donna Cox [11] en ces termes : "Visual metaphors is defined as a mapping from one domain of information into another domain of information". Parmi ces métaphores, nous avons identifié catégories : environnementales, utilitaire et sans.

environnementale. Nous classons dans les métaphores environnementales tous les mappings visuels qui introduisent une référence à l'environnement, à la nature où à la biologie

utilitaire.

Cette métaphore importe des éléments concrets. Elle se base sur des objets de références utilisés dans le foyer. Les objets représentés sont ceux qui utilisent de l'énergie.

sans

Cette catégorie regroupe les références qui n'utilisent pas de métaphores (pas d'ajouts)

5 CASES STUDIES

6 ANALYSE DU CORPUS

6.1 Information

6.2 Dispositif

6.2.1 Medium

Les références du corpus utilisent la visualisation à 68% pour représenter des données énergétiques. Ces visualisations sont des dashboards comme par exemple le projet *Dubuque energy portal* [15] ou bien des représentations artistiques comme le projet *Sinais* [38].

Les physicalisations représentent 28% du corpus. Par exemple, le projet *Watt i see* [50] reprend le principe du bar graph sous la forme de 3 lampes à lave.

Très peu représentée, les sonifications représentent 4% du corpus. Les informations sont transmises par l'intermédiaire de haut-parleurs comme la proposition de Gaver et al. [19]

6.2.2 Type de dispositifs

Des applications de représentation de la consommation électrique qui s'intègrent dans des dispositifs conçus pour l'affichage d'informations représentent 52% des artefacts. Les projets *green machine* [34], *handy feedback* [56], *Tiree energy pulse* [52] sont des applications pour téléphones mobiles. Les projets *Google power meter* [] et *Powering kitchen appliance* [] sont des pages web. Les projets *POEM* [35] et *Dubuque energy portal* [15] sont des logiciels.

Les objets dédiés à la représentation de l'information énergétique correspondent à 24% des artefacts. Ils intègrent un écran pour pouvoir afficher une visualisation comme par exemple le projet *Eco Eye* [] ou bien permet l'affichage d'une physicalisation. le projet *Local energy indicator* [47] en est l'exemple.

Les objets domestiques diffusant de l'information énergétique représente 24% des références du corpus. Nous distinguons deux groupes : les objets augmentés et les objets greffés (Grafted objects).

Les objets augmentés sont des objets du quotidien conçus pour afficher une information énergétique mais qui n'ont pas pour fonction principale la diffusion d'information électrique mais leurs fonctions intrinsèques. Ce type de dispositif représente 18% des artefacts du corpus. Nous remarquons qu'il s'agit d'objet en lien avec l'électricité : des chauffages électrique comme par exemple le projet *the element* [23], des câbles d'alimentation avec le projet *PowerAwareCord* [22] ou bien encore des prises (*power point* []) et interrupteur (*nootan* []) ou bien des objets déjà porteur d'information comme par exemple l'horloge *watt time* [].

Les objets greffés sont des objets du quotidien auquel les auteurs ont associés une information énergétique sans transformer l'objet. Ce type représente 6% du corpus. Les projets *Sos Florestas* [1] et *graph* [] sont tous les deux des stickers apposés sur des interrupteurs. Ils informent l'utilisateur sur l'impact de l'utilisation de cet objet. Le projet *tidy street project* [4] se greffe sur l'asphalte d'une rue pour informer les riverains de la consommation de leur quartier.

6.3 Représentation

6.3.1 modes utilisés

Nous remarquons que 34% des artefacts du corpus utilisent un mode de représentation pragmatique. Il s'agit de la catégorie la plus représentée. Les time series des dashboard *Dubuque energy portal* [15] et *Google power meter* sont un exemple de représentation pragmatique.

Les représentations casual représentent 20% des artefacts du corpus. L'information y est représentée sous des formes plus symboliques. Par exemple, *The tenere* [29] est une multiprise qui représente la consommation d'énergie sous la forme d'un arbre, le ténéré, symbole de la survie de la nature en milieu aride. Des représentations pragmatiques sont quelques fois "habillées" ou "embellies" par des illustrations. Cette catégorie ne concerne que 4% des références. Par exemple, l'application *Cosmic Dashboard* [55] utilise des jauges pour indiquer un score énergétique. La jauge n'est pas rectangulaire mais reprend la silhouette d'un arbre.

Peu de références (4%) proposent des représentations artistiques. Dans ce type de représentation, les données de consommation électriques alimentent un graphisme génératif. Par exemple, les données électriques influent sur la teinte d'un paysage nature dans l'application *Sinais* [38]; verdoyant quand la consommation est bonne, apocalyptique quand elle est mauvaise. La visualisation *normal canvas* [33] propose un encodage abstrait de la consommation : sous la forme de volutes colorées et dynamiques.

A l'inverse des précédents modes de représentation, certaines références (4%) utilisent uniquement des valeurs chiffrées pour afficher la valeur des consommations. C'est le cas du projet *Eco Eye* []. Cet objet affiche en temps réel les économies d'énergies réalisées ainsi que l'empreinte carbone. 33% des artefacts n'affichent pas les données électriques sur un écran.

En effet, nous remarquons que 22% du total des artefacts encodent

ces données via de la lumière. Les projets *Energy Orb* [], *Glow* [], *Local energy lamp* [45] sont des dispositifs lumineux dont la variation de couleur indique une modification sur le réseau électrique (changement de tarif, source, dépassement de seuil de consommation). Le projet *Share aware light* [] et *The element* [] encodent des données énergétiques grâce à un changement d'intensité de la lumière. 7% des références sont des objets tangibles qui ont la capacité de changer de forme pour représenter des données liées à l'énergie. Le projet *wag* [] est un plateau qui récompense une consommation vertueuse par le mouvement de dizaine de tiges en plastique. Au contraire, lorsque le seuil est dépassé, l'objet se fige. *Heat sensitive lamp* [] est une lampe composée d'un tube en plastique. Sous l'action de la chaleur de l'ampoule, l'objet fond, se déforme petit à petit. Cette lente déformation est la trace de l'usage cumulé de la consommation de lumière. *Flower lamp* [] est une suspension composée de lamelles de métal. Cet objet réagit à la consommation électrique et s'ouvre petit à petit.

Quelques références ne représentent pas la consommation de manière visuelle mais sonore (4%). Soit en perturbant l'écoute d'une station de radio lorsque la consommation devient trop importante comme le projet *Erratic radio* [16], soit en diffusant des messages sonores à propos de l'état du réseau *Energy Babble* [19] ou bien en indexant des sons d'instruments de musique pour traduire l'utilisation d'appareils électriques *Power chord* [32].

6.3.2 idiomes utilisés

Nous observons qu'il existe 17 idiomes différents pour représenter les données énergétiques et que 51,7% des artefacts du corpus utilisent à minima un idiomme pour représenter la consommation d'électricité. Les 5 idiomes les plus utilisés représentent à eux seuls 33,7% du corpus. Il s'agit des *bar chart* (10,1%) comme par exemple l'application *Emoncms* [], les *gauge* (9%) utilisée dans l'application *Handy Feedback* [56], les *circular bar chart* (5,6%) que l'on retrouve dans les projets *Watt time* [], *My companion* [] et *Energy aware clock* [6], les *line chart* (4,5%) (*marcus2009going* []) et *unit chart* (4,5%) (*Local energy indicator* [47]). Nous avons comptabilisé sur la partie restante (18%), l'utilisation ponctuelle de 13 idiomes. Parmi eux, nous identifions des idiomes utilisés dans le domaine expert énergétique comme le *sankey diagram* (1%) visible dans le projet *pulse* [] ou *history flow* (1%) dans le projet *data sculpting* [20].

6.3.3 métaphores

57% des artefacts du corpus utilisent des métaphores pour représenter la consommation d'électricité. Parmi ces derniers, nous observons que les métaphores les plus utilisées sont *environnementales* (41%) et *utilitaires* (38%).

La métaphore environnementale fait référence à des végétaux comme par exemple dans le projet *POEM* [35] représente la consommation avec une fleur. Le projet *Energy Plant* [] avec une plante d'intérieur. le projet *Phylotaxis design* [51] est une métaphore de l'organisation de graines de tournesol. Les projets *Cosmic Dashboard* [55], *Energy tree* [43] et *TreeVis with berry* [?] utilisent des arbres. Généralement, la consommation est représentée comme une influence sur l'état du végétal (croissance, floraison, ramification). La métaphore environnementale fait également référence au règne animal. Le projet *Coralog* [30] illustre la consommation sous la forme d'un corail, les projets *Polar bear* [14], *Biosphéric screen* [41] et *Eco bear* [37] utilisent la métaphore de l'ours polaire pour créer une relation entre les consommations d'énergie et le réchauffement climatique.

Les métaphores utilitaires font références aux objets électriques domestiques ou à l'environnement domestique lui-même.

Par exemple, l'application *Figure Energy* [10] utilise des pictogrammes représentant des usages domestiques (prendre une douche, cuisiner) pour qualifier les pics de consommation. Les pôles de consommation sont appuyés par des représentations d'objets domestiques dans le projet *Household Energy game* [53]. L'application

power viz [39] représente l'évolution de la consommation en utilisant la métaphore d'ampoules électriques. l'application *Pulse* [] est une arborescence où chaque branche est illustrée par un pictogramme représentant un usage électrique. L'outil de désagrégation *Powering kitchen appliance* [] permet de distinguer la consommation par usage. Ils sont repérable grâce à un code couleur et des pictogramme associés à des usages. Les jeux *Doll house* [54] et *Power house* [1] représentent tous les deux l'intérieur d'un habitat et de ses équipements. Également, la forme archétypale de la maison est utilisée dans les projets *Energy Aware clock* [6], *Energy life* [18], *Energy Wiz* [42] et *Social screen* [41].

Nous observons en marge des métaphores industrielles comme par exemple le projet *graph* [] qui représente les différents moyens de production de l'énergie. L'éolienne ou le jouet est utilisé dans la visualisation *pinwheel design* [51].

7 RESULTS

7.1 continuum d'engagement

Les auteurs de 47 références du corpus définissent les tâches effectuées par les usagers. Nous avons retranscrit l'ensemble de ces tâches déclarées, les avons taguées puis regroupées en grandes catégories : 1.data gathering, 2.awareness, 3.understand, 4.reflect, 5.action. Ces catégories sont organisées dans un continuum traduisant le niveau d'implication des usagers. Nous proposons une définition pour chacune des catégories.

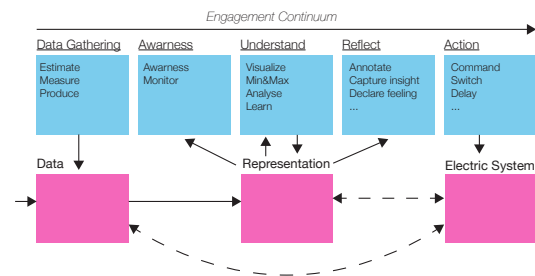


FIGURE 2. Tasks engagement continuum, in pink the tasks identified, in blue the relative object of the tasks.

7.1.1 data gathering

Cette catégorie englobe des artefacts qui n'intègrent pas de données mais qui permettent à l'utilisateur de prendre des mesures. Les tâches citées par les auteurs sont : *measure*, *estimate*, *produce*.

Handy Feedback [56] est une application qui permet à l'utilisateur de faire une mesure de la puissance appelé pour l'équipement de son choix. La puissance instantanée est représentée grâce à une jauge. En bordure de la jauge, 3 zones colorées (vert, jaune, rouge) servent de référentiel pour estimer les résultats.

Household energy game [53] est l'artefact le plus ancien du corpus. Le dispositif est une matrice. L'utilisateur attribue un nombre de cases correspondantes à ses consommations. Les différentes catégories sont illustrées. La couleur verte représente la part des transports, jaune signifie les équipements et bleu le chauffage et la cuisson. La grille complétée est un treemap qui permet de comparer les usages les plus énergivores.

Shake light bottle [45] est un petit dispositif qui permet de produire l'énergie nécessaire pour éclairer. L'objet est un tube de taille réduite que l'utilisateur secoue pour qu'il s'illumine.

7.1.2 awareness

Par awareness, nous entendons tous les dispositifs dont la tâche déclarée est de sensibiliser l'utilisateur à sa consommation électrique. Les auteurs citent le plus souvent les tâches suivantes : *keep track*, *encourage*, *monitor*, *awareness*

L'application *loop Energy* [] permet de suivre l'évolution (keep track) de la consommation du foyer. Des représentations pragmatiques montrent l'évolution de la consommation. Les auteurs promettent une meilleure optimisation de la consommation et une économie sur la facture.

L'application mobile *Wattbot* [40] représente sous la forme d'un bar chart horizontal : 1) la consommation totale du foyer ainsi que 2) des pôles d'équipement à des pas de temps différents. Un code couleur, du orange vif au vert fait office de référentiel. Ce projet reprend la métaphore du mouvement circulaire du compteur électrique pour évoquer puissance appelé en temps réel. Selon les auteurs, ce dispositif "allows users to track their home energy usage and encourages them to reduce consumption"

L'installation *Tidy street project* [4] et le projet *powering the kitchen* [] sont deux exemples de dispositifs permettant de monitorer la consommation. Pour le premier projet, un line graph a été tracé à même le sol dans une petite rue de Brighton. Il représente l'évolution de la consommation de la rue entière. Cette valeur est comparée avec la consommation de l'ensemble de la ville. Ce projet est visible depuis la fenêtre de son logement. Le deuxième projet permet lui aussi de monitorer la consommation. Les données sont représentées sur une time-série en stream graph. la consommation est désagrégée en différents pôles de consommation. Il devient plus facile de savoir quand un équipement à fonctionné.

la prise de conscience (awareness) peut être exacerbée par l'emploi de métaphores comme le projet *Coralog* [30] en est l'exemple. Cette application représente un récif corallien dont l'aspect évolue au gré de la consommation électrique. L'utilisation d'une métaphore et tisse une relation entre sa propre consommation électrique et l'impact de l'activité humaine globale sur l'environnement.

7.1.3 understand

Par understand, nous définissons les dispositifs dont le but est d'aider à la compréhension des données de consommation électriques. Les tâches les plus citées par les auteurs sont : *analyse, annotate, explore, compare, visualize, calculate*

Certains dispositifs favorisent l'analyse des données. C'est le cas des applications *Powerley* [] et *powering kitchen* []. Le premier projet est une application mobile. La consommation en temps réel est représentée sous la forme d'une horloge. La puissance appelée en watt est placée au centre, un bargraph circulaire représente l'historique de la consommation pour chaque minute. Le second projet, *powering kitchen*, est un dashboard interactif où l'utilisateur a la possibilité de désagréger la courbe de charge (la décomposer pour rendre visible la consommation de chaque appareil) pour isoler un ou plusieurs équipements.

La compréhension est améliorée quand il est possible d'annoter soi même des données énergétique comme l'illustre l'application *Figure energy* [10]. Cette action favorise la relation entre les données (line graph) et usagers électriques (bulles représentant des appareils électriques).

L'application *Energy Clock* [] mêle deux informations : l'heure et la consommation électrique. Plusieurs niveaux de navigation offre à l'utilisateur la possibilité d'explorer son historique de consommation.

L'utilisateur novice a du mal à comprendre s'il ne possède pas de référentiel pour comparer sa consommation. Le dispositif *Watt-lite* [27] est composé de 3 torches qui projettent chacune un cercle de lumière colorée. L'une représente la consommation en temps réel, la deuxième une consommation excessive, la troisième une consommation minimale. L'utilisateur peut juxtaposer les faisceaux pour comparer les valeurs. Le dispositif dédié *Totem* [] rend possible la comparaison de valeurs entre elles en désagrégeant la consommation par pôle. Il s'agit d'objet cylindrique composé d'une vingtaine de disques. Chaque disque est affilié à un pôle de consommation. La rotation des disques indique une dérive par rapport à un objectif de

consommation. La comparaison de la position des disques permet d'identifier des "pôles" plus consommateurs que d'autres.

La web-app *Emoncms* [] offre à l'utilisateur la possibilité de visualiser sa consommation d'électricité mais également d'autres données liées à l'environnement domestique comme par exemple la température. Ces données sont représentées sobrement : visualisations pragmatiques sur écran noir, les couleurs indiquent la nature des données. L'objet *Lumination* [] permet de visualiser le niveau de consommation du foyer en 3d.

Estimer le coût des usages électriques peut faciliter la compréhension de sa consommation. L'application *My Companion* [] permet de calculer les économies engendrées lorsque l'utilisateur décale l'utilisation de certains appareils électriques comme par exemple la machine à laver.

7.1.4 reflect

Les dispositifs de cette catégorie accompagnent les usagers dans une démarche réflexive où les usagers, impliqués activement, prennent eux même conscience de leurs consommations. À la différence de la précédente catégorie (tournée sur l'analyse de l'historique de consommation), cette catégorie introduit des tâches de prévision et de simulation. Les tâches les plus déclarées par les auteurs sont : *Define Goal, Setup, identify Outliers, Explore "what-if" scenarios, simulate*

Définir soi-même un objectif à atteindre relève d'un haut niveau d'engagement. L'application *Energy life* [18] permet de définir des objectifs de consommation et de les comparer avec ses activités réelles. Cette application a une interface sous la forme d'un carrousel. Pour atteindre ses objectifs, des conseils se mêlent aux données énergétiques.

Le dispositif *Compteur vivant* []

Programmer soi-même le seuil d'alerte engage l'utilisateur dans une pratique réflexive. le dispositif

L'application *Wivaldy* [] facilite l'identification de profils de consommations anormaux.

Les données sont représentées en Polar Area Chart. Les profils anormaux sont visuellement plus importants.

L'application *Data Sculpting* [20] intègre la fonction *What-if* pour remodeler la courbe de consommation et identifier les économies potentielles. L'écran se compose de Stacked Area Chart.

Le jeu *Power house* [1] ne représente pas la consommation réelle du foyer. La gestion ludique via des avatars virtuel peut néanmoins favoriser une attitude réflexive sur ses propres consommations. ce projet reprend les codes du jeu *les SIMS*. Des avatars se déplacent dans un environnement en vue isométrique et interagissent avec des objets électriques.

7.1.5 action

Par action, nous définissons tous les dispositifs qui permettent aux usagers d'avoir un impact concret sur leur consommation électrique. Il s'agit du niveau d'implication de l'utilisateur le plus important du continuum. Les auteurs déclarent les tâches suivantes : *switch, unplug, adapt behavior, produce and use energy, activate*. Allumer ou éteindre la lumière représente l'action la plus concrète et visuelle que l'utilisateur puisse faire pour agir sur sa consommation. le dispositif *light Jar* [45] est une lampe qui s'active quand le récipient est ouvert. Lorsqu'il est refermé, la lampe passe en mode recharge solaire.

Agir sur sa consommation revient également à déconnecter des objets ou des groupes d'objets quand ils ne sont pas utilisés. La multiprise appelée *Coupe Veille* [] permet de couper l'alimentation d'un groupe d'objet. Une nuée de points lumineux signale l'énergie

consommée. Le miroir *switch* [] facilite la programmation et l’automatisation de déconnexion automatique d’objets aux fonctions associés ; Par exemple, l’arrêt du téléviseur entraînera automatiquement l’arrêt du système hi-fi.

La prise *Sémaphore* [] ne permet pas une action directe sur l’état de la consommation mais favorise la modification de comportement. Il s’agit d’une veilleuse branché sur une prise dont un unique point lumineux change de couleur en fonction du tarif de l’électricité en temps réel. Cet objet incite à décaler ses actions quand l’énergie est la plus chère.

Pour fonctionner, le dispositif Crank sound box [45] demande un effort de l’utilisateur. C’est lui qui doit produire l’énergie nécessaire à l’utilisation de ce dictaphone miniature. Tourner la manivelle dans un sens déclenche l’enregistrement. Tourner dans le sens inverse active la lecture du son.

Autre exemple, la lampe dina [] ne s’active que lorsque l’usager insère une pièce de monnaie. La durée d’éclairage dépend de la quantité réelle d’argent introduite. Cette proposition rend concrète la relation du coût de l’énergie et d’un usage électrique.

7.2 Utilisation des unités

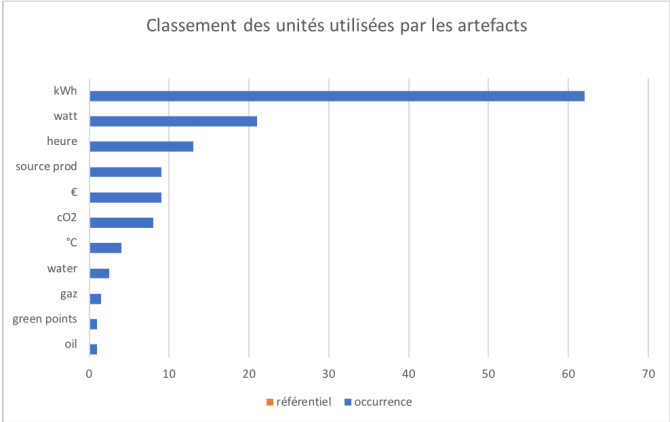


FIGURE 3. Unités utilisées par les artefacts

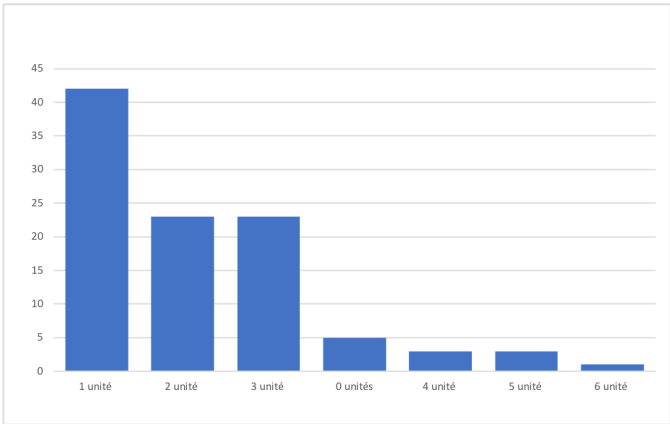


FIGURE 4. Nombre d’unités utilisé par dispositif

les unités énergétiques sont celles qui sont les plus utilisés dans les artefacts du corpus. le kWh est cité 62 fois, le watt 21 fois. L’unité financière est faiblement représentée. cela est probablement du à la nature du corpus. En effet la majorité des artefacts proviennent

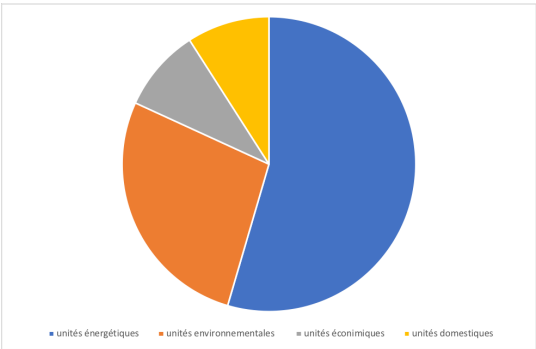
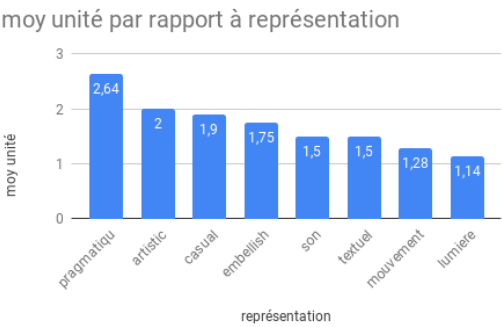
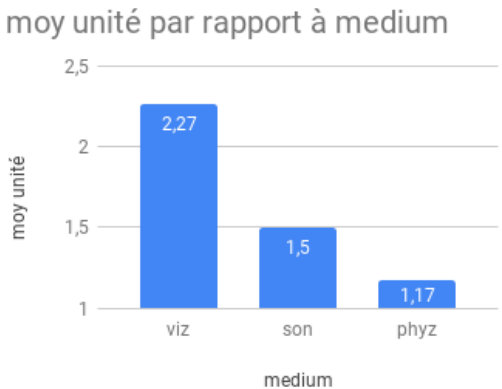
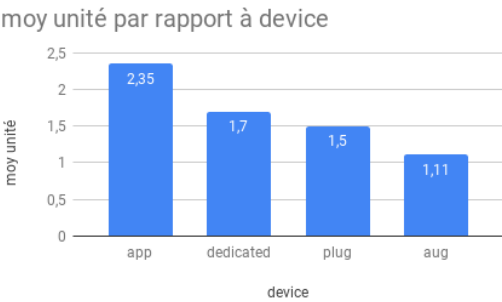


FIGURE 5. Types d’unités utilisées dans le corpus. En bleu les unités énergétiques, en orange les unités environnementales, en gris les unités économiques et en jaune les unes domestiques



du domaine académique et il est rare que l’unité financière soit utilisé. Elles sont plutôt utilisés dans les dispositifs conçus par des professionnels de l’énergie.

Les unités énergétiques comprennent les watt, les kWh, le gaz

et oil. Nous remarquons que la deuxième source d'unité les plus cités sans les unités environnementales tel que le CO₂, l'eau, des greens points citer. Nous remarquons également que peu d'unités domestiques sont utilisées.

Nous avons observé le nombre d'unités utilisés par les artefacts. 42

Nous avons comparé le nombre moyen d'unités utilisées par type de dispositif. En moyenne les applications utilisent 2,35 unités contre 1,11 pour les objets augmentés. Egalement le médium visualisation utilise en moyenne 2,27 unités contre 1,17 pour les physicalisations.

Les modes de représentations pragmatiques utilisent en moyenne 2,64 unités. Les modes de représentation alternatifs (artistique, Casual, embellish) utilise entre 2 et 1,75 unités. par contre les modes de représentation lumineux n'utilisent que 1,14 unités.

8 DESIGN GUIDELINES

9 DISCUSSION

SL:La métaphore industrielle est sous exploitée.

SL:Est-ce que l'on a besoin d'embarquer beaucoup d'informations ou bien peu (mais plus adapté) (50 indicateurs VS 3 indicateurs)

SL:Beaucoup de variables visuelles ou peu de variables visuelles ?

SL:Continuum efficacité vers Acceptabilité

SL:peu d'évaluations sur ce corpus

10 CONCLUSION

RÉFÉRENCES

- [1] M. Bang, C. Torstensson, and C. Katzeff. The powerhouse : A persuasive computer game designed to raise awareness of domestic energy consumption. In *International conference on persuasive technology*, pages 123–132. Springer, 2006.
- [2] S. Barrass and G. Kramer. Using sonification. *Multimedia systems*, 7(1) :23–31, 1999.
- [3] L. Bartram. Design challenges and opportunities for eco-feedback in the home. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(4) :52–62, 2015.
- [4] J. Bird and Y. Rogers. The pulse of tidy street : Measuring and publicly displaying domestic electricity consumption. In *workshop on energy awareness and conservation through pervasive applications (Pervasive 2010)*, 2010.
- [5] U. S. Briefing. International energy outlook 2013. *US Energy Information Administration, Washington, DC*, 2013.
- [6] L. Broms, C. Katzeff, M. B ang, Nyblom, S. I. Hjelm, and K. Ehrnberger. Coffee maker patterns and the design of energy feedback artefacts. In *proceedings of the 8th ACM conference on designing interactive systems*, pages 93–102. ACM, 2010.
- [7] D. Brounen, N. Kok, and J. M. Quigley. Energy literacy, awareness, and conservation behavior of residential households. *Energy Economics*, 38 :42–50, July 2013.
- [8] Y. Chisik. An Image of Electricity : Towards an Understanding of How People Perceive Electricity. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2011*, pages 100–117. Springer, Berlin, Heidelberg, Berlin, Heidelberg, Sept. 2011.
- [9] N. Combe. *Reducing domestic energy consumption through inclusive interface design*. PhD thesis, Brunel University School of Engineering and Design PhD Theses, 2012.
- [10] E. Costanza, S. D. Ramchurn, and N. R. Jennings. Understanding domestic energy consumption through interactive visualisation : a field study. In *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*, pages 216–225. ACM, 2012.
- [11] D. Cox. Metaphoric mappings : The art of visualization. *Aesthetic computing*, pages 89–114, 2006.
- [12] S. Darby et al. The effectiveness of feedback on energy consumption. *A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and direct Displays*, 486(2006) :26, 2006.
- [13] J. E. DeWaters and S. E. Powers. Energy literacy of secondary students in New York State (USA) : A measure of knowledge, affect, and behavior. *Energy Policy*, 39(3) :1699–1710, 2011.
- [14] T. Dillahunt, G. Becker, J. Mankoff, and R. Kraut. Motivating environmentally sustainable behavior changes with a virtual polar bear. In *Pervasive 2008 Workshop Proceedings*, volume 8, pages 58–62, 2008.
- [15] T. Erickson, M. Li, Y. Kim, A. Deshpande, S. Sahu, T. Chao, P. Sukavi-riya, and M. Naphade. 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*, pages 1203–1212. ACM, 2013.
- [16] A. Ernevi, S. Palm, and J. Redström. Erratic appliances and energy awareness. *Knowledge, Technology & Policy*, 20(1) :71–78, 2007.
- [17] C. Fischer. Influencing electricity consumption via consumer feedback : a review of experience. *Proceedings of the European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE)*, pages 1873–1884, 2007.
- [18] L. Gamberini, A. Spagnolli, N. Corradi, G. Jacucci, G. Tusa, T. Mikkola, L. Zamboni, and E. Hoggan. Tailoring feedback to users' actions in a persuasive game for household electricity conservation. In *International Conference on Persuasive Technology*, pages 100–111. Springer, 2012.
- [19] W. Gaver, M. Michael, T. Kerridge, A. Wilkie, A. Boucher, L. Ovalle, and M. Plummer-Fernandez. Energy babble : Mixing environmentally-oriented internet content to engage community groups. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1115–1124. ACM, 2015.
- [20] S. Goodwin, J. Dykes, S. Jones, I. Dillingham, G. Dove, A. Duffy, A. Kachkaev, A. Slingsby, and J. Wood. Creative user-centered visualization design for energy analysts and modelers. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(12) :2516–2525, 2013.
- [21] F. Grossberg, M. Wolfson, S. Mazur-Stommen, K. Farley, and S. Nadel. Gamified energy efficiency programs. *American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC*, 2015.
- [22] A. Gustafsson and M. Gyllenswärd. The power-aware cord : energy awareness through ambient information display. In *CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1423–1426. ACM, 2005.
- [23] M. Gyllenswärd, A. Gustafsson, and M. Bang. Visualizing energy consumption of radiators. In *International Conference on Persuasive Technology*, pages 167–170. Springer, 2006.
- [24] M. R. Herrmann, D. B. B. . 4th, and 2016. How much electricity do you use at home ? An investigation into householders' literacy for comprehending domestic electricity data. *discovery.ucl.ac.uk*.
- [25] M. R. Herrmann, D. P. Brumby, and T. Oreszczyn. Watts your usage ? A field study of householders' literacy for residential electricity data. *Energy efficiency*, 14(2) :245–17, Aug. 2017.
- [26] M. R. Herrmann, D. P. Brumby, T. Oreszczyn, and X. M. P. Gilbert. Does data visualization affect users' understanding of electricity consumption ? *Building Research & Information*, 46(3) :238–250, Aug. 2017.
- [27] L. Jönsson, L. Broms, and C. Katzeff. Watt-lite : energy statistics made tangible. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, pages 240–243. ACM, 2010.
- [28] W. Kempton and L. Montgomery. Folk quantification of energy. *Energy*, 7(10) :817–827, Oct. 1982.
- [29] J.-W. Kim, Y.-K. Kim, and T.-J. Nam. The ténéré : design for supporting energy conservation behaviors. In *CHI'09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 2643–2646. ACM, 2009.
- [30] T. Kim, H. Hong, and B. Magerko. Corallog : use-aware visualization connecting human micro-activities to environmental change. In *CHI'09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 4303–4308. ACM, 2009.
- [31] R. Kosara. Visualization Criticism - The Missing Link Between Information Visualization and Art. In *Information Visualization, 2007. IV '07. 11th International Conference*, pages 631–636, July 2007.
- [32] D. Lockton, F. Bowden, C. Brass, and R. Gheerawo. Powerchord : Towards ambient appliance-level electricity use feedback through real-time sonification. In R. Hervás, S. Lee, C. Nugent, and J. Bravo, editors, *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. Personalisation and User Adapted Services*, pages 48–51, Cham, 2014. Springer International Publishing.
- [33] S. Makonin, P. Pasquier, and L. Bartram. Elements of consumption : an abstract visualization of household consumption. In *International Symposium on Smart Graphics*, pages 194–198. Springer, 2011.
- [34] A. Marcus and J. Jean. Going green at home : the green machine. *Information Design Journal*, 17(3) :235–243, 2009.
- [35] M. Milenkovic, U. Hanebutte, Y. Huang, D. Prendergast, and H. Pham. Improving user comfort and office energy efficiency with poem (personal office energy monitor). In *CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 1455–1460. ACM, 2013.
- [36] U. Nation. Energy - United Nations Sustainable Development. <https://>

- [37] N. Nielsen, S. B. P. S. Pedersen, J. A. Sørensen, N. Verdezoto, and N. H. . Ecobears : Augmenting everyday appliances with symbolic and peripheral feedback. In *Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference*, AH '15, pages 155–156, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [38] V. Nisi, N. J. Nunes, F. Quintal, and M. Barreto. Sinais from fanal : design and evaluation of an art-inspired eco-feedback system. In *Proceedings of the Biannual Conference of the Italian Chapter of SIGCHI*, page 3. ACM, 2013.
- [39] J. Paay, J. Kjeldskov, M. B. Skov, D. Lund, T. Madsen, and M. Nielsen. 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*, pages 332–341. ACM, 2014.
- [40] D. Petersen, J. Steele, and J. Wilkerson. Wattbot : a residential electricity monitoring and feedback system. In *CHI'09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 2847–2852. ACM, 2009.
- [41] P. Petkov, S. Goswami, F. Köbler, and H. Krcmar. *Personalised eco-feedback as a design technique for motivating energy saving behaviour at home*. ACM, New York, New York, USA, Oct. 2012.
- [42] P. Petkov, F. Köbler, M. Foth, and H. Krcmar. 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, pages 21–30, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [43] L. S. Piccolo, C. Baranauskas, and R. Azevedo. A socially inspired energy feedback technology : challenges in a developing scenario. *AI & SOCIETY*, 32(3) :383–399, 2017.
- [44] J. Pierce, C. Fan, D. Lomas, G. Marcu, and E. Paulos. Some consideration on the (in) effectiveness of residential energy feedback systems. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, pages 244–247. ACM, 2010.
- [45] J. Pierce and E. Paulos. Materializing energy. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, pages 113–122. ACM, 2010.
- [46] J. Pierce and E. Paulos. Beyond Energy Monitors : Interaction, Energy, and Emerging Energy Systems. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 665–674, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [47] J. Pierce and E. Paulos. The local energy indicator : designing for wind and solar energy systems in the home. In *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference*, pages 631–634. ACM, 2012.
- [48] J. Pierce, D. J. Schiano, and E. Paulos. Home, Habits, and Energy : Examining Domestic Interactions and Energy Consumption. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1985–1994, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [49] Z. Pousman, J. Stasko, and M. Mateas. Casual Information Visualization : Depictions of Data in Everyday Life. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(6) :1145–1152, Nov. 2007.
- [50] F. Quintal, C. Jorge, V. Nisi, and N. Nunes. Watt-i-see : A tangible visualization of energy. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pages 120–127. ACM, 2016.
- [51] J. Rodgers and L. Bartram. Exploring Ambient and Artistic Visualization for Residential Energy Use Feedback. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(12) :2489–2497.
- [52] W. Simm, M. A. Ferrario, A. Friday, P. Newman, S. Forshaw, M. Hazas, and A. Dix. Tiree 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*, pages 1965–1974. ACM, 2015.
- [53] T. Smith, J. Jenkins, and D. Schoengold. *A Description of the Household Energy Game : Its Purpose, Construction and Sources of Information*. University of Wisconsin Sea Grant College Program, 1973.
- [54] M. Sun and L. Bartram. Energy Conservation Game : Exploring Alternative Visualizations for Residential Energy Use. 2014.
- [55] T. Vilarinho, B. Farshchian, L. W. Wienhofen, T. Franang, and H. Gulbrandsen. Combining persuasive computing and user centered design into an energy awareness system for smart houses. In *Intelligent Environments (IE), 2016 12th International Conference on*, pages 32–39. IEEE, 2016.
- [56] M. Weiss, F. Mattern, T. Graml, T. Staake, and E. Fleisch. Handy feedback : Connecting smart meters with mobile phones. In *Proceedings of the 8th international conference on mobile and ubiquitous multimedia*,