



HAL
open science

Études préliminaires à la conception de CAIRNS : une Interface Tangible Ambiante pour Décaler la Demande en Énergie au Travail

Maxime Daniel, Guillaume Riviere, Nadine Couture

► **To cite this version:**

Maxime Daniel, Guillaume Riviere, Nadine Couture. Études préliminaires à la conception de CAIRNS : une Interface Tangible Ambiante pour Décaler la Demande en Énergie au Travail. 29ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, AFIHM, Aug 2017, Poitiers, France. 12 p., 10.1145/3132129.3132152 . hal-01578006

HAL Id: hal-01578006

<https://hal.science/hal-01578006v1>

Submitted on 28 Aug 2017

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.

Études préliminaires à la conception de CAIRNS : une Interface Tangible Ambiante pour Décaler la Demande en Énergie au Travail

Maxime Daniel^{1,2}
¹Estia-Recherche
64210, Bidart, France
m.daniel@estia.fr

Guillaume Rivière^{1,2}
²LaBRI, UMR CNRS 5800
33405, Talence, France
g.riviere@estia.fr

Nadine Couture^{1,2}
n.couture@estia.fr

RÉSUMÉ

Ces 10 dernières années, des systèmes interactifs ont été conçus pour encourager les utilisateurs à décaler leur demande en énergie vers les moments où plus d'énergie renouvelable est disponible. Dans cet article, nous proposons de décaler la demande en énergie des ordinateurs portables au travail. À l'aide d'un outil que nous avons développé, nous définissons des consignes pour aider les employés dans cette tâche. Pour permettre aux employés d'appliquer ces consignes, nous proposons d'utiliser un histogramme physique pour visualiser des prévisions de production d'énergie renouvelable. En résultats de plusieurs études utilisateurs, nous convergions vers un histogramme physique horizontal circulaire, interprétable par l'utilisateur peu importe sa position

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author.

IHM'17, August 29-September 1, 2017, Poitiers, France

© 2017 Copyright is held by the owner/author(s).

ACM ISBN 978-1-4503-5109-6/17/08. <https://doi.org/10.1145/3132129.3132152>

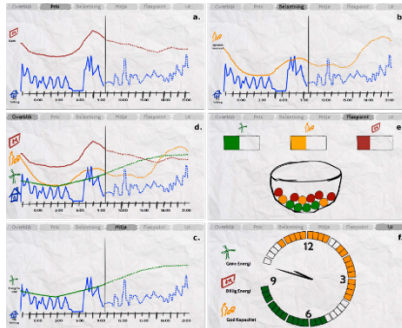


Figure 1 : eForecast [14]



Figure 2 : FORE-Watch [20]

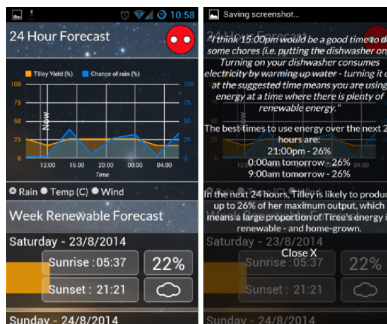


Figure 3 : Tiree Energy Pulse [21]

autour de l’histogramme physique. Enfin, nous évoquons la conception et l’étude de CAIRNS, une interface ambiante à changement de forme utilisant des disques extensibles illuminés permettant de représenter ce type d’histogramme physique.

MOTS CLÉS

IHM durable, Persuasion Technologique Ambiante, Interaction Périphérique, Physicalisation de données, Énergie, Lieu de travail

ABSTRACT

In the past 10 years, interactive systems have been designed to encourage users in using energy when there is plenty of renewable energy. In this paper, we propose to shift the energy demand of laptops in the workplace. Using a tools we developed, we define instructions for helping employees in this task. In order to help employees applying these instructions, we propose to use a physical histogram for visualizing renewable energy forecasts. In result of several user studies, we converge to a circular horizontal physical histogram, interpretable by the user independently of his position around the physical histogram. Finally, we evoke the design and the study of CAIRNS, an ambient shape-changing interface using illuminated extensible disks, for representing this kind of physical histogram.

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → **Human computer interaction (HCI)**; Visualization; Field studies;

KEYWORDS

Sustainable HCI, Ambient Persuasive Technology, Peripheral Interaction, Data Physicalization; Energy, Workplace

ACM Reference format:

Maxime Daniel, Guillaume Rivière, and Nadine Couture. 2017. Études préliminaires à la conception de CAIRNS : une Interface Tangible Ambiante pour Décaler la Demande en Énergie au Travail. In *Proceedings of 29eme Conference Francophone sur l’Interaction Homme-Machine , Poitiers- Futuroscope, FR, Août 2017 (IHM 2017)*, 8 pages. DOI: 10.1145/3132129.3132152

1 INTRODUCTION

Utiliser de l’énergie renouvelable (EnR) plutôt que de l’énergie non-renouvelable est une stratégie considérée comme appropriée pour réduire l’impact environnemental. En 2013, la capacité mondiale à produire de l’EnR a augmenté de 8,5% permettant aux EnRs d’atteindre 23,7% de la production globale d’électricité en 2014 [19]. Le réseau électrique doit toujours être en



Figure 4 : Energy Local Lamp [17]



Figure 5 : Watt-I-See [18]

équilibre entre l'offre et la demande en énergie. Cependant, plus la génération d'énergie tend vers le renouvelable et la micro-génération, plus l'équilibre entre l'offre et la demande en énergie est complexe à maintenir. Les problèmes critiques tels que les pics de demande en énergie peuvent créer des pannes de courant et rendre le réseau électrique inefficace [10]. Ces problèmes sont exacerbés par une offre en EnR fluctuant avec les conditions météorologiques et par une capacité limitée de stockage d'énergie [11]. À moins que le stockage d'énergie devienne économiquement viable pour atténuer l'intermittence des sources d'EnRs [24], nous aurons besoin à l'avenir de synchroniser notre demande en énergie avec la disponibilité de cette ressource.

Récemment, des systèmes interactifs ont été conçus pour encourager les utilisateurs à décaler leur demande en énergie vers les moments où plus d'énergie renouvelable est disponible [3,14,17,18,20,21]. La plupart des systèmes conçus à cet effet ciblent le foyer et utilisent des interfaces graphiques pour visualiser des prévisions sur la production EnR [3,14,20,21] (Figure 1, 2 et 3). Ainsi, ces systèmes informent les utilisateurs de la disponibilité à venir des EnRs et les aident à planifier leur usage en énergie. Aussi, on note que certains systèmes utilisent des interfaces tangibles ambiantes pour *subtilement* informer les utilisateurs de la disponibilité *immédiate* des EnRs [17,18] (Figure 4 et 5). Cependant, il n'est pas clair comment ces interfaces ambiantes rendent les utilisateurs plus conscients de la disponibilité des EnRs. Pour répondre à cette question, nous souhaitons concevoir et étudier une interface tangible ambiante visualisant des prévisions de production EnR.

2 TRAVAUX RELATIFS

En 2007, Blevis [2] définit l'IHM durable comme l'IHM qui considère dans sa conception à la fois les besoins et les exigences de l'utilisateur et ceux de l'environnement. En 2007 également, Mankoff et al. [16] décrivent deux catégories distinctes de l'IHM durable : le développement durable *dans* la conception, qui cherche à réduire les impacts environnementaux des logiciels et des matériels et le développement durable *par* la conception, qui cherche à promouvoir les prises de décisions et les styles de vie pro-environnementaux. Nos travaux se situent dans cette dernière catégorie. En 2010, Disalvo et al. [4] notent que le développement durable *par* la conception est principalement représenté par deux domaines : la *Conscientisation Ambiante* et la *Persuasion Technologique*. Nos travaux sont à l'intersection de trois domaines : la *Physicalisation des Données*, l'*Interaction Périphérique* et la *Persuasion Technologique Ambiante*.

2.1 Physicalisation des Données

En 2015, Jansen et al. [13] décrivent la *Physicalisation des Données* comme un domaine de recherche émergeant qui examine comment les représentations physiques des données peuvent supporter la cognition, la communication, l'apprentissage, la résolution de problèmes et la prise de décisions. Ils appellent ces représentations, *Physicalisations*. La physicalisation des données est à l'intersection entre des domaines de recherche traditionnels tels que la *Visualisation* et les *Interfaces Utilisateurs Tangibles*.

2.2 Interaction Périphérique

La *Conscience Ambiante* permet aux êtres humains d'être conscient des (changements d') informations environnantes [26]. En 1996, Weiser et Brown [25] définissent les Technologies *Calmes* comme des systèmes interactifs capables de voyager entre l'attention périphérique et l'attention centrale de l'utilisateur. Ils affirment que les technologies calmes augmentent la conscience ambiante en amenant plus de détails dans la périphérie de l'utilisateur : elles rendent les utilisateurs conscients de ce qui s'est passé, de ce qui se passe et de ce qui va se passer autour d'eux. Dans la lignée des technologies calmes, les *Interfaces Ambiantes* utilisent des artefacts perceptibles (ex. forme, mouvement, son, couleur, lumière, odeur) pour subtilement représenter des (changements d') informations numériques. En 2015, Bakker et al. [1] notent que des études récentes sur les technologies calmes ont été conduites sous le terme d'*Interaction Périphérique*, visant à élargir la portée des technologies calmes en concevant des systèmes interactifs non seulement pour la perception périphérique mais également pour permettre aux utilisateurs d'interagir physiquement avec le monde virtuel dans leur périphérie.

2.3 Persuasion Technologique Ambiante

En 1998, Fogg [7,8] définit la *Persuasion Technologique* comme une tentative de changer des *attitudes* ou des *comportements* avec des systèmes interactifs, sans utiliser la tromperie ou la coercition. En 2010, Ham et Midden [12] décrivent la *Persuasion Technologique Ambiante* comme une tentative de changer des *attitudes* ou des *comportements* avec des systèmes interactifs intégrés dans l'environnement exerçant une influence sur les utilisateurs sans nécessiter leur attention centrale.

3 DÉCALER LA DEMANDE EN ÉNERGIE DES ORDINATEURS PORTABLES AU TRAVAIL

La majorité des systèmes identifiés ciblent le foyer [3,14,17,20,21]. Pourtant, les espaces collectifs et publics tels que le lieu de travail semblent être des espaces privilégiés pour décaler la demande en énergie : en 2014, les services, les transports et les industries comptaient respectivement pour 13,3%, 25,9% et 33,2% de la demande globale en énergie de l'UE contre 25% pour les foyers [6]. Pour autant, décaler la demande en énergie au travail peut s'avérer difficile : même quand peu d'énergie renouvelable est disponible sur le réseau électrique, les employés peuvent ne pas avoir d'autre choix que d'utiliser de l'énergie pour accomplir leur activité professionnelle.

Une étude récente [14] mentionne que décaler la demande en énergie dans les foyers était plus réaliste avec des équipements pouvant être séparés des routines quotidiennes tels que le lave-linge, le lave-vaisselle ou les chargeurs de batterie. En 2014, 66% des entreprises de l'UE avaient équipé leurs employés avec des ordinateurs portables, des smartphones et d'autres appareils mobiles [5]. Les appareils mobiles tels que les ordinateurs portables fonctionnent sur batterie et offrent

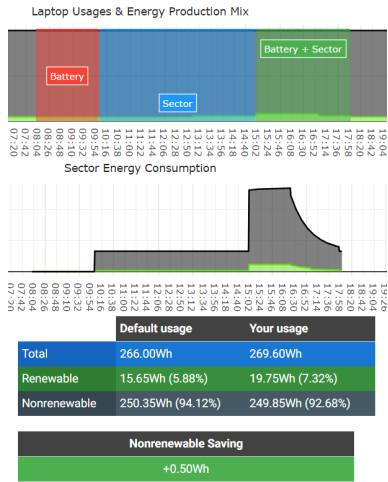


Figure 6 : Application des consignes avec SEDYL pour une faible variation EnR.

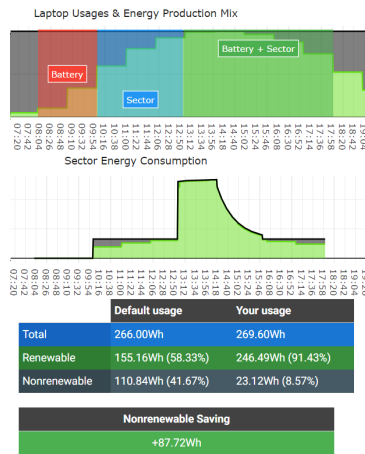


Figure 7 : Application des consignes avec SEDYL pour une forte variation EnR.

l'opportunité aux employés de décaler leur demande en énergie sans pour autant interrompre leur activité nécessitant du calcul informatique.

4 DÉFINITION DE CONSIGNES POUR DÉCALER LA DEMANDE EN ÉNERGIE D'UN ORDINATEUR PORTABLE

Dans un premier temps, nous avons cherché à identifier la pratique de l'ordinateur portable la plus commune sur le lieu de travail. Pour cela, nous avons demandé à 20 personnes de notre laboratoire (8 femmes, 12 hommes) de remplir un questionnaire. Parmi ces 20 personnes, 13 déclarent garder leur ordinateur portable branché au secteur lorsqu'ils sont au travail (même lorsque la batterie est complètement chargée). Nous considérons cette dernière pratique comme la pratique par défaut pour décaler la demande en énergie d'un ordinateur portable.

Nous avons ensuite développé SEDYL¹ (*Shifting Energy Demand with Your Laptop*), un outil en ligne permettant de simuler le décalage de la demande en énergie avec un ordinateur portable. L'outil implémente un modèle dynamique de batterie lithium-ion [23] et prend en paramètres : la configuration de l'ordinateur portable (ex. puissance nominale, capacité de la batterie) ; le mix de la production électrique² (ex. 14h-15h -- 20% d'EnR et 80% d'EnNR) ; et les usages de l'ordinateur portable (ex. 12h-13h -- ordinateur sur batterie ; 13h-14h -- ordinateur sur secteur uniquement ; 14h-15h -- ordinateur sur batterie et secteur).

L'outil permet de comparer une pratique donnée avec la pratique par défaut précédemment identifiée. Il calcule, entre autres, la quantité d'EnNR non consommée par la pratique donnée selon l'équation suivante :

$$EnNR \text{ non consommée (pratique donnée)} = EnNR \text{ consommée (pratique défaut)} - EnNR \text{ consommée (pratique donnée)}$$

$$EnNR \text{ consommée (pratique)} = \sum_{t=\text{début pratique}}^{t=\text{fin pratique}} \text{puissance tirée du réseau électrique (t)} \times \text{taux EnNR du réseau électrique (t)}$$

Dans notre exploration des pratiques avec l'outil, nous avons utilisé la configuration d'un ordinateur portable d'une puissance nominale de 20W équipé d'une batterie lithium-ion à 6 cellules (4400mAh, 11,1V). Pour le mix de la production électrique, nous avons utilisé des courbes de

¹ <http://itame.estia.fr/sedyl/>, visité le 26 juillet 2017.

² La part du thermique, du nucléaire ou encore de l'hydraulique et des autres énergies renouvelables dans la production d'électricité.

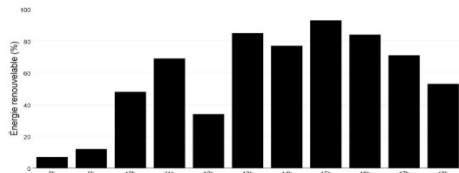


Figure 8: Histogramme vertical visualisant plusieurs variations EnR.

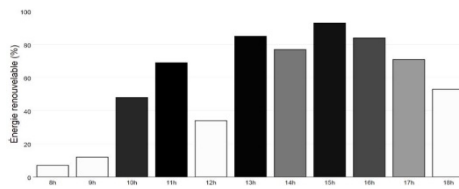


Figure 9 : Histogramme vertical gris visualisant plusieurs variations EnR.

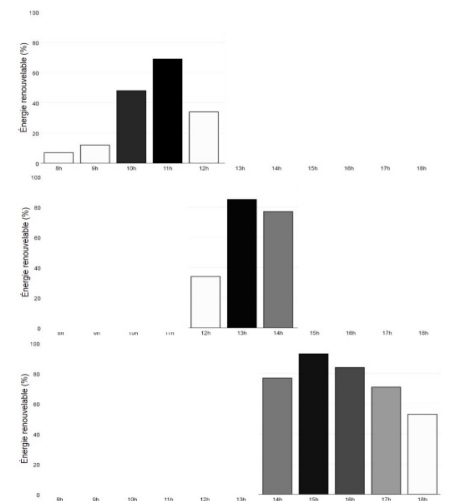


Figure 10 : Histogramme vertical gris visualisant une variation EnR à la fois.

production d'énergie solaire de l'installation photovoltaïque de notre laboratoire (13 janvier 2012 - 12 janvier 2013, Bidart, France). À partir de ces courbes, nous avons simulé des pratiques en combinant trois usages différents de l'ordinateur portable (ordinateur sur batterie, ordinateur sur secteur uniquement, ordinateur sur batterie et secteur). De manière empirique, nous avons identifié les consignes suivantes pour décaler la demande en énergie d'un ordinateur portable :

1. En attendant un pic d'énergie renouvelable, **décharger** la batterie et, si la batterie est faible, **enlever** la batterie.
2. Pendant un pic d'énergie renouvelable, **charger** la batterie.
3. Après le dernier pic d'énergie renouvelable, continuer à **charger** la batterie jusqu'à la fin de la journée.

On observe également que plus l'écart type d'une variation EnR est faible, moins il y a d'intérêt à décaler la demande en énergie de l'ordinateur portable (Figure 6 et 7). Cependant, nous ne sommes pas en mesure de dire à quel moment une variation EnR devient intéressante pour décaler la demande en énergie d'un ordinateur portable, notamment, à cause de l'usure induite à la batterie (ex. l'impact de la profondeur de (dé)charge sur la durée de vie de la batterie) que l'outil ne permet pas d'estimer. Par précaution, nous encouragerons les employés à décaler leur demande en énergie seulement pour les variations EnR avec un écart type supérieur à 10%.

5 CHOIX D'UN HISTOGRAMME PHYSIQUE POUR VISUALISER LES PRÉVISIONS DE PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUEVABLE

Afin d'appliquer les consignes, les employés devront identifier les pics EnR à venir pendant leur journée de travail. Pour les aider dans cette tâche, nous allons concevoir un système interactif permettant de visualiser des prévisions de production EnR. Pour cause, de telles prévisions sont communément utilisées par les systèmes interactifs que nous avons identifiés. Les systèmes en question utilisent une variété de visualisations graphiques afin d'aider les utilisateurs à planifier leur usage en énergie en fonction de la disponibilité à venir des EnRs [3,14,20,21] (ex. courbes (Figure 1, 2 et 3), horloges (Figure 1 et 2), frises chronologiques (Figure 2)). À notre connaissance, aucun système n'utilise une interface tangible à cet effet. Pour cette raison, nous allons visualiser les prévisions de production EnR à l'aide d'un histogramme physique. Nous pensons que la capacité des histogrammes à mettre en exergue les différences entre des données facilitera la tâche d'identification des pics EnR. Afin d'aboutir à un type d'histogramme physique permettant aux employés d'appliquer les consignes, nous avons réalisé une série de tests utilisateurs.

5.1 Histogrammes Verticaux visualisant plusieurs variations EnR

Inspiré par des travaux sur les histogrammes physiques verticaux [9,15,22], nous nous sommes tout d'abord tourné vers ce type d'histogramme. Nous avons demandé à 7 personnes (3 femmes, 4 hommes) d'appliquer les consignes sur une série de 5 histogrammes verticaux, imprimés au format A4 (Figure 8). Les participants ont pu appliquer les consignes à l'aide d'un système de notation

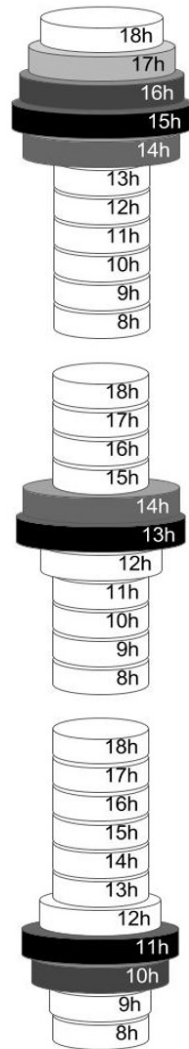


Figure 11 : Histogramme horizontal circulaire grisé visualisant une variation EnR à la fois.

permettant de simuler le comportement d'une batterie. À l'aide d'un crayon gris et pour chaque heure de la journée de travail, les participants devaient entourer un usage de la batterie et colorier le niveau de batterie en conséquences : **charger** (+50% de batterie en 1 heure), **décharger** (-25% de batterie en 1 heure) et **enlever** (+0% de batterie en 1 heure). De plus, les participants commençaient avec 100% de batterie à 8h et devaient terminer à 18h avec 100% de batterie. Avant de compléter les 5 histogrammes verticaux, les participants ont pu prendre en main le système de notation avec une série de trois tutoriels. Une fois les histogrammes complétés, nous avons interviewé les participants et leur avons demandé de remplir un questionnaire.

En résultats, les participants déclarent avoir compris les consignes. Cependant, tous les pics EnR n'ont pas été identifiés par les participants. Pour cause, la majorité d'entre eux ont identifié un pic comme étant la ou les heures les plus hautes de la journée (**P5** : « *j'ai considéré les trois ou quatre heures les plus hautes de la journée comme un pic.* »). Or, il peut y avoir plusieurs pics dans une même journée comme relevé par un participant (**P2** : « *De temps en temps, il y a des pics locaux.* »).

Nous avons conclu que les consignes étaient compréhensibles et applicables sur un histogramme mais que ce type d'histogramme ne permettait pas aux utilisateurs d'identifier tous les pics.

5.2 Histogrammes Verticaux Grisés visualisant plusieurs variations EnR

Par la suite, nous avons modifié les histogrammes verticaux en grisant toutes les variations EnR en fonction de leur écart à la moyenne. De cette façon, nous avons cherché à mettre en exergue le pic EnR de chaque variation par une couleur plus foncée. Nous avons ensuite demandé à 7 autres personnes (3 femmes, 4 hommes) d'identifier les pics EnR sur une série de 5 histogrammes verticaux grisés, imprimés au format A4 (Figure 9).

À l'aide d'un crayon **gris**, les participants devaient cocher la ou les heures de la journée qui leur semblait être un pic. Une fois les histogrammes complétés, nous avons interviewé les participants et leur avons demandé de remplir un questionnaire.

À nouveau, certains participants ont identifié les pics comme étant la ou les heures les plus hautes de la journée (**P2** : « *J'ai choisi à l'aide de la hauteur de la barre.* »). Néanmoins, la couleur a aidé certains participants à identifier des pics qu'ils n'auraient pas identifié sinon (**P1** : « *Sur l'histogramme C, on voit bien qu'il y a un pic un peu intermédiaire et s'il n'était pas en noir, franchement, je ne l'aurais pas mis.* »).

Nous avons conclu que la couleur a aidé les participants à identifier les pics mais que ce type d'histogramme ne permettait toujours pas aux utilisateurs d'identifier tous les pics.

5.3 Histogrammes Horizontaux Circulaires Grisés visualisant une variation EnR à la fois

Jusqu'à présent, nous avons utilisé l'histogramme pour visualiser plusieurs variations EnR à la fois. Cependant, en identifiant un pic EnR comme étant la ou les heures les plus hautes, les participants retrouvent facilement le plus grand pic EnR mais difficilement les autres pics, plus petits. Or, si on utilise un histogramme pour visualiser une seule variation EnR à la fois, les participants

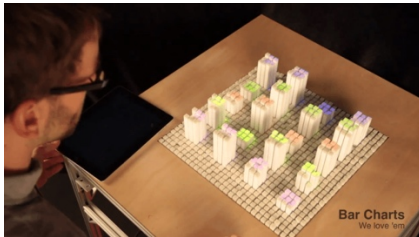


Figure 12 : InFORM [9]

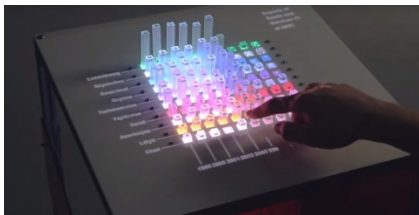


Figure 13 : EMERGE [22]



Figure 14 : Un *cairn*, monticule de pierres indiquant aux passants un repère, un passage, une frontière ou encore un lieu sacré³.

³ https://pixabay.com/p-2082937/?no_redirect
image sous licence CC0 téléchargée le 13 juin 2017.

retrouveront facilement le pic EnR de la variation qui correspondra, à chaque fois, à l'heure ou aux heures les plus hautes. Suivant ce raisonnement, nous avons modifié les histogrammes verticaux pour visualiser, une à une, les variations EnR (Figure 10).

Également, jusqu'à présent, nous avons utilisé des histogrammes verticaux. Cependant, après réflexion, nous pensons que ce type d'histogramme physique n'est pas le plus adapté pour le lieu de travail. En effet, en fonction de la position de l'employé dans le bureau, une des barres verticales de l'histogramme physique peut en occulter une autre et ainsi réduire l'information perçue. Pour contrer cet effet d'occultation, nous utiliserons un histogramme physique horizontal circulaire, interprétable par l'utilisateur peu importe sa position autour de l'interface (Figure 10).

Par la suite, nous avons demandé à 7 personnes (2 femmes, 5 hommes) d'identifier les pics EnR sur une série de 5 histogrammes horizontaux circulaires grisés, imprimés au format A4 (Figure 11). À l'aide d'un crayon gris, les participants devaient cocher la ou les heures de la journée qui leur semblait être un pic EnR. Une fois les histogrammes complétés, nous avons interviewé les participants et leur avons demandé de remplir un questionnaire.

Cette fois-ci, les participants ont bien identifié tous les pics. On note que certains participants déclarent que, tout d'abord, la couleur puis la largeur les ont aidés à identifier les pics alors que dans les études précédentes sur les histogrammes verticaux, c'était tout d'abord la hauteur puis la couleur (P1 : « J'ai priorisé la couleur plutôt que la variation du diamètre [pour identifier les pics]. »), P5 : « La couleur principalement [pour identifier les pics]. Plus c'est large, plus c'est grand mais la couleur ça aide je trouve. »).

Nous avons conclu que ce type d'histogramme permettait bien aux utilisateurs d'identifier tous les pics. Nous avons retenu ce type d'histogramme pour la suite de nos travaux.

6 PERSPECTIVES

À notre connaissance, aucune interface n'a été conçue pour représenter un histogramme physique horizontal circulaire. Cependant, des travaux tels que EMERGE [22] (Figure 11) et InFORM [9] (Figure 12) utilisent des barres extensibles illuminées pour représenter des histogrammes physique verticaux. Similaire à EMERGE et InFORM, nous allons concevoir CAIRNS, une interface à changement de forme utilisant des disques extensibles illuminés. Inspirée par les *cairns* (Figure 13), CAIRNS représente un histogramme physique horizontal circulaire, interprétable par l'utilisateur peu importe sa position autour de l'interface (Figure 11).

Par la suite, nous réaliserons une expérimentation contrôlée en laboratoire pour déterminer comment CAIRNS peut subtilement informer les utilisateurs de l'arrivée d'une variation EnR à l'aide du mouvement de ses disques extensibles. Enfin, nous déploierons CAIRNS dans un lieu de travail pendant plus d'un 1 mois pour étudier comment est-ce qu'il peut aider les employés à décaler la demande en énergie de leur ordinateur portable. Lors de cette expérimentation, il sera important d'utiliser des prévisions fiables afin de conserver la crédibilité du système et la confiance de l'utilisateur. Pour cela, nous utiliserons des prévisions de production EnR générées

quotidiennement par EPICES-ENERGIE⁴, un service dédié à la gestion et l'exploitation de parcs de production EnR.

7 CONCLUSION

La plupart des systèmes conçus pour promouvoir le décalage de la demande en énergie ciblent le foyer et utilisent des interfaces graphiques pour visualiser des prévisions de production d'énergie renouvelable. Dans cet article, nous souhaitons décaler la demande en énergie des ordinateurs portables au travail. À l'aide d'un outil que nous avons développé, nous avons défini des consignes pour aider les employés dans cette tâche. Pour permettre aux employés d'appliquer ces consignes, nous utiliserons un histogramme physique horizontal circulaire pour visualiser des prévisions de production d'énergie renouvelable.

En perspectives, nous proposons de concevoir et étudier CAIRNS, une interface à changement de forme utilisant des disques extensibles illuminés permettant de représenter un histogramme physique horizontal circulaire, interprétable par l'utilisateur peu importe sa position autour de l'interface.

RÉFÉRENCES

- [1] Saskia Bakker, Elise van den Hoven, and Berry Eggen. 2015. Peripheral interaction: characteristics and considerations. *Pers. Ubiquitous Comput.* 19, 1 (2015), 239–254. DOI:<https://doi.org/10.1007/s00779-014-0775-2>
- [2] Eli Blevis. 2007. Sustainable Interaction Design: Invention & Disposal, Renewal & Reuse. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '07), 503–512. DOI:<https://doi.org/10.1145/1240624.1240705>
- [3] Enrico Costanza, Joel E. Fischer, James A. Colley, Tom Rodden, Sarvapali D. Ramchurn, and Nicholas R. Jennings. 2014. Doing the Laundry with Agents: A Field Trial of a Future Smart Energy System in the Home. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '14), 813–822. DOI:<https://doi.org/10.1145/2556288.2557167>
- [4] Carl DiSalvo, Phoebe Sengers, and Hrönn Brynjarsdóttir. 2010. Mapping the Landscape of Sustainable HCI. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '10), 1975–1984. DOI:<https://doi.org/10.1145/1753326.1753625>
- [5] EUROPA. 2015. *Statistiques sur la société de l'information - entreprises*. Retrieved from http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Information_society_statistics_-_entreprises/fr
- [6] EUROPA. 2016. *Energy balance sheets 2014 data*. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-books/-/KS-EN-16-001>
- [7] Brian J. Fogg. 1998. Persuasive Computers: Perspectives and Research Directions. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '98), 225–232. DOI:<https://doi.org/10.1145/274644.274677>

⁴ <http://www.epices-energie.fr/>, visité le 30 juillet 2017

- [8] Brian J. Fogg. 2002. Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do. *Ubiquity* 2002, (December 2002). DOI:<https://doi.org/10.1145/764008.763957>
- [9] Sean Follmer, Daniel Leithinger, Alex Olwal, Akimitsu Hogge, and Hiroshi Ishii. 2013. inFORM: Dynamic Physical Affordances and Constraints Through Shape and Object Actuation. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (UIST '13), 417–426. DOI:<https://doi.org/10.1145/2501988.2502032>
- [10] Frontier Economics and Sustainability First. 2012. *Demand side response in the domestic sector—a literature review of major trials*. Retrieved from <http://www.frontier-economics.com/documents/2013/10/frontier-report-demand-side-response-in-the-domestic-sector.pdf>
- [11] David Hafemeister. 2010. Sustainable Energy: Without the Hot Air. *Am. J. Phys.* 78, 2 (2010), 222–223. DOI:<https://doi.org/10.1119/1.3273852>
- [12] Jaap Ham and Cees Midden. 2010. Ambient Persuasive Technology Needs Little Cognitive Effort: The Differential Effects of Cognitive Load on Lighting Feedback Versus Factual Feedback. In *Proceedings of the 5th International Conference on Persuasive Technology* (PERSUASIVE '10), 132–142. DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-642-13226-1_14
- [13] Yvonne Jansen, Pierre Dragicevic, Petra Isenberg, Jason Alexander, Abhijit Karnik, Johan Kildal, Sriram Subramanian, and Kasper Hornbæk. 2015. Opportunities and Challenges for Data Physicalization. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '15), 3227–3236. DOI:<https://doi.org/10.1145/2702123.2702180>
- [14] Jesper Kjeldskov, Mikael B. Skov, Jeni Paay, Dennis Lund, Tue Madsen, and Michael Nielsen. 2015. Facilitating Flexible Electricity Use in the Home with Eco-Feedback and Eco-Forecasting. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Australian Special Interest Group for Computer Human Interaction* (OzCHI '15), 388–396. DOI:<https://doi.org/10.1145/2838739.2838755>
- [15] Daniel Leithinger and Hiroshi Ishii. 2010. Relief: A Scalable Actuated Shape Display. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* (TEI '10), 221–222. DOI:<https://doi.org/10.1145/1709886.1709928>
- [16] Jennifer C. Mankoff, Eli Blevis, Alan Borning, Batya Friedman, Susan R. Fussell, Jay Hasbrouck, Allison Woodruff, and Phoebe Sengers. 2007. Environmental Sustainability and Interaction. In *CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (CHI EA '07), 2121–2124. DOI:<https://doi.org/10.1145/1240866.1240963>
- [17] James Pierce and Eric Paulos. 2010. Materializing Energy. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems* (DIS '10), 113–122. DOI:<https://doi.org/10.1145/1858171.1858193>
- [18] Filipe Quintal, Clinton Jorge, Valentina Nisi, and Nuno Nunes. 2016. Watt-I-See: A Tangible Visualization of Energy. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces* (AVI '16), 120–127. DOI:<https://doi.org/10.1145/2909132.2909270>
- [19] REN21. 2016. *Renewables 2016 Global Status Report*. Retrieved from http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf
- [20] Johann Schrammel, Cornelia Gerdenitsch, Astrid Weiss, Patricia M. Kluckner, and Manfred Tscheligi. 2011. FORE-Watch – The Clock That Tells You When to Use: Persuading Users to Align Their Energy Consumption with Green Power Availability. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Ambient Intelligence* (AmI '11), 157–166. DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-642-25167-2_19
- [21] Will Simm, Maria Angela Ferrario, Adrian Friday, Peter Newman, Stephen Forshaw, Mike Hazas, and Alan Dix. 2015. Tired Energy Pulse: Exploring Renewable Energy Forecasts on the Edge of the Grid. In

- Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, 1965–1974. DOI:<https://doi.org/10.1145/2702123.2702285>
- [22] Faisal Taher, John Hardy, Abhijit Karnik, Christian Weichel, Yvonne Jansen, Kasper Hornbæk, and Jason Alexander. 2015. Exploring Interactions with Physically Dynamic Bar Charts. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, 3237–3246. DOI:<https://doi.org/10.1145/2702123.2702604>
- [23] Olivier Tremblay and Louis-A Dessaint. 2009. Experimental validation of a battery dynamic model for EV applications. *World Electr. Veh. J.* 3, 1 (2009), 1–10.
- [24] Frank Trentmann. 2009. Disruption is normal: blackouts, breakdowns and the elasticity of everyday life. *Time Consum. Everyday Life Pract. Mater. Cult.* (2009), 67–84. DOI:<https://doi.org/10.1111/traa.12069>
- [25] Mark Weiser and John Seely Brown. 1996. Designing calm technology. *PowerGrid J.* 1, 1 (July 1996), 75–85.
- [26] Craig Wisneski, Hiroshi Ishii, Andrew Dahley, Matthew G. Gorbet, Scott Brave, Brygg Ullmer, and Paul Yarin. 1998. Ambient Displays: Turning Architectural Space into an Interface Between People and Digital Information. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Cooperative Buildings, Integrating Information, Organization, and Architecture (CoBuild '98)*, 22–32. DOI:https://doi.org/10.1007/3-540-69706-3_4

