

L'Interaction Homme-Machine contre le changement climatique : retour sur une controverse

Guillaume Rivière

► **To cite this version:**

Guillaume Rivière. L'Interaction Homme-Machine contre le changement climatique : retour sur une controverse. Journal d'Interaction Personne-Système, Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM), 2020, Volume 9, Number 1, Special Issue : PISTIL 2. hal-01851838v5

HAL Id: hal-01851838

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01851838v5>

Submitted on 18 Jan 2021

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.



L'Interaction Homme-Machine contre le changement climatique : retour sur une controverse

Guillaume RIVIÈRE

Univ. Bordeaux, ESTIA, LaBRI,
UMR 5800

F-64210 Bidart, France

g.riviere@estia.fr

Human-Computer Interaction against Climate Change: Review of a Controversy

Abstract. Human-Computer Interaction (HCI) is a means for Information and Communication Technologies to help facing the climate-change challenge. Researchers have conducted work on this way for two decades. They followed the track of progressive change through persuasion for individual consumption reduction. This track is however seriously discussed which leads the community to retarget coming research. This paper reviews the main criticisms of the controversy that takes place in the community, and considers a possible track to overcome the problems: a radical change through new social practices.

Key words: Information and Communication Technologies (ICT), Human-Computer Interaction (HCI), climate change, sustainability, controversy, criticisms.

Résumé. Un des moyens par lesquels les Technologies de l'Information et de la Communication peuvent contribuer à faire face au défi du changement climatique est par l'Interaction Homme-Machine. Des travaux de recherche ont déjà été conduits en ce sens depuis deux décennies. La voie empruntée, d'un changement progressif par réduction de la consommation individuelle, est cependant remise en cause sur certains points, ce qui doit amener la communauté à réorienter les prochains travaux de recherche. Cet article assemble les principales critiques issues de la controverse qui animent la communauté et envisage une voie ouverte pour remédier à cette remise en question : un changement radical par de nouvelles pratiques sociales.

Mots-clés : Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), Interaction Homme-Machine (IHM), changement climatique, soutenabilité, développement durable, controverse, critiques.

Édité par Pr. J.M.C. Bastien (Université de Lorraine) & Pr. G. Calvary (Univ. Grenoble Alpes)

1 INTRODUCTION

La gestion durable des ressources et le dérèglement climatique deviennent de plus en plus alarmants : 25 ans après le premier avertissement de plus d'un millier de scientifiques (Kendall & 1,575 scientist signatories, 1992), c'est plus d'une dizaine de milliers qui vient de signer un deuxième avertissement à l'humanité (Ripple et al., 2017). Cet enjeu a commencé à soucier le domaine de l'Interaction Homme-Machine (IHM) depuis deux décennies. L'Interaction Homme-Machine est une discipline qui « a pour mission l'élaboration de théories, de modèles, de méthodes et de solutions techniques pour la conception et la mise en œuvre de systèmes interactifs utiles, utilisables et plaisants, et ceci en toute circonstance » (Coutaz, 2013). Les chercheurs en Interaction Homme-Machine souhaitent (trouver un moyen de) mettre à contribution les systèmes interactifs pour aider à relever ce défi environnemental rencontré par l'humanité.

La première approche de la cause environnementale par l'Interaction Homme-Machine est de réduire la consommation énergétique en utilisant la « persuasion technologique » (Fogg, 1998). Dans cette approche, la technologie est intentionnellement conçue pour « tenter de changer les attitudes, les comportements, ou les deux (sans contraindre ni tromper) » (Fogg, 2003, p. 15). La persuasion est déjà un thème de recherche en psychologie sociale (Joule & Beauvois, 1987). Le concept de la persuasion technologique est d'en reproduire les mécanismes au sein des interfaces homme-machine. Elle y trouve des applications, par exemple, dans le commerce en ligne (Negri & Senach, 2015), la santé (Fenicio & Calvary, 2015) et les loisirs (Fenicio et al., 2017). Cette approche visant à agir sur les comportements grâce aux ordinateurs a également ouvert la voie à de nombreux travaux de recherche en Interaction Homme-Machine pour la cause environnementale en ciblant la consommation de ressources comme l'eau (Arroyo et al., 2005 ; Froehlich et al., 2012 ; Kuznetsov & Paulos, 2010) ou l'énergie (Cano et al., 2015 ; Daniel et al., 2016).

Cette approche originale de la cause environnementale en Interaction Homme-Machine a inspiré un sous-ensemble d'autres approches. L'objectif de l'approche « eco-feedback », basée sur le principe d'auto-surveillance, est de fournir des « retours d'information sur des comportements individuels ou collectifs afin de réduire l'impact environnemental » (Froehlich et al., 2010). Dans cette lignée, une approche est de fournir ces informations de manière ambiante (Ham & Midden, 2010 ; Heller & Borchers, 2011 ; Piccolo et al., 2017 ; Rodgers & Bartram, 2011 ; Valkanova et al., 2013), c'est-à-dire au sein de l'environnement de l'utilisateur, perçu par son attention périphérique (Weiser & Brown, 1996). Requérir l'attention centrale de l'utilisateur peut alors devenir facultatif sans perdre le potentiel de persuasion (Ham & Midden, 2010 ; Ham et al., 2009). Une autre approche est d'utiliser « l'informatique ubiquitaire » (Intille, 2002) ou « l'intelligence ambiante » (Aarts et al., 2007) afin de persuader l'utilisateur, de manière personnalisée, au bon moment et au bon endroit. Une autre approche encore est de recourir à des fonctions de ludification, basée sur les principes de conditionnement, de coopération, ou de compétition, afin d'augmenter l'efficacité du système persuasif (Gustafsson et al., 2010 ; Hamari et al., 2014 ; Negri & Senach, 2015). La ludification ajoute des mécanismes de jeu à des contextes non-récréatifs (Deterding et al., 2011).

En 2007, sans se référer aux travaux de recherche initiaux de la persuasion technologique, les approches en Interaction Homme-Machine pour la cause environnementale sont distinguées selon deux orientations distinctes : la soutenabilité *par* la conception et la soutenabilité *dans* la conception (Mankoff et al., 2007). D'un côté, la soutenabilité *dans* la conception cherche à minimiser l'empreinte environnementale des interfaces elles-mêmes : par exemple, en termes de déchets matériels et de consommation d'énergie des interfaces de l'informatique ubiquitaire (Jain & Wullert, 2002) ; ou encore, par la « conception d'interaction soutenable » en prenant en compte les implications environnementales au moment de la conception des interfaces (Blevis, 2007). Cette voie interroge de manière plus radicale une vision alternative déviant du système économique en

vigueur, en soulevant notamment le problème du cycle d'obsolescence mutuelle entre matériel et logiciel, se rendant, l'un et l'autre, prématurément obsolètes (Blevis, 2007). De l'autre côté, la soutenabilité *par* la conception cherche à encourager des modes de vie plus vertueux et à aider à prendre de meilleures décisions. L'« approche persuasive » entre dans cette deuxième orientation. En 2010, les approches sont cartographiées sous l'appellation de l'« Interaction Homme-Machine soutenable » (DiSalvo et al., 2010) et une analyse comparative souligne les défauts d'ambition des travaux initiaux, se restreignant au maintien du système économique actuel sous assistance de capteurs, tentant de rectifier et de normaliser les comportements individuels de consommation des ressources, ce qui conduit à de nombreuses critiques de l'approche originale.

Ces critiques de l'approche originale des travaux de l'Interaction Homme-Machine pour la soutenabilité sont disséminées au travers de nombreux articles et restent encore mal connues au sein de la communauté. Les arguments décrivant l'approche originale sont encore peu répandus. Sans y avoir participé ou en avoir été informé, ce qui a pris la tournure d'une controverse, passe encore inaperçu par la simple lecture des articles, comme (Silberman et al., 2014). Nous proposons par cet article de rendre compte de cette controverse en reprenant les critiques les plus saillantes qui l'ont animée ces dernières années.

LES APPORTS DE CETTE RECHERCHE :

- ✓ Discerner deux approches de la soutenabilité en Interaction Homme-Machine.
- ✓ Assembler les critiques de la controverse entre ces deux approches.
- ✓ Envisager une nouvelle direction à prendre par les travaux de recherche futurs.

2 LES CRITIQUES EMISES PAR LA CONTROVERSE

Dès 2010, une critique dénonce la vision trop étroite et moderniste (Dourish, 2010 ; Strengers, 2011 ; Brynjarsdóttir et al., 2012) des premiers travaux de recherche conduits en Interaction Homme-Machine pour la cause environnementale. Cette critique initiale trouve écho dans d'autres travaux de recherche (Knowles, 2013 ; Knowles et al., 2014a,b) et plusieurs limites résultent de ces observations. Beaucoup des arguments développés sont basés sur le raisonnement, et ne résultent pas forcément d'une expérimentation, mais sont néanmoins convaincants. Nous reprenons l'essence de ces arguments en les structurant en quatre composantes principales.

2.1 Une conception experte et moderniste

L'analyse de Brynjarsdóttir et al. (2012) critique comment la persuasion technologique a façonné l'Interaction Homme-Machine pour la soutenabilité. Notamment, ils reprochent le caractère « moderniste » des travaux de recherche. Ils réfèrent au « modernisme » comme un large courant culturel trouvant son apogée au début du XX^e siècle. Les sociétés modernistes pensent pouvoir calculer, prédire, améliorer et contrôler la vie grâce à la science et à la technique. Un exemple manifeste de limitation des approches modernistes fut la gestion de l'exploitation forestière à la fin du XVIII^e siècle en Allemagne: celle-ci optimisa les rendements et remplaçât la végétation non rentable. « À court terme, la production augmenta, mais après 80 ans (c.-à-d., un cycle de vie) la forêt commença à dépérir. » Dans cet exemple, l'échec réside dans l'ignorance de la complexité du fonctionnement de l'écosystème forestier dans son ensemble. Ce constat reste d'actualité dans la qualification de « solutionnisme technologique » qui critique l'ambition des entrepreneurs de la Silicon Valley de vouloir résoudre les problèmes du monde par la technologie : l'obésité, l'insomnie, les embouteillages, ou encore le changement climatique (Morozov, 2014). Plus globalement, ce sont les approches voulant tout résoudre par la technologie qui sont critiquées : tant le « design d'interaction soutenable » que la « persuasion technologique » sont donc concernés par ces critiques.

L'approche initiée par la persuasion technologique recèle en effet de nombreux caractères du modernisme (Brynjarsdóttir et al., 2012) :

« Vouloir surveiller et superviser, le comportement humain, avec des capteurs, réside en une croyance dans les calculs à pouvoir modéliser la soutenabilité. L'intention de changer le comportement est un exemple de tentative de contrôle des aléas pour conduire au résultat prédit et souhaitable. La sélection amont d'indicateurs révèle la grande importance donnée à la connaissance des experts comme étant la force motrice pouvant trouver des solutions. »

Une principale faiblesse de cette approche est de vouloir piloter la vie quotidienne des utilisateurs en les considérant comme des gestionnaires de ressources. Cette approche repose sur des principes d'optimisation de comportements de consommation, comme la régulation entre l'offre et la demande (Strengers, 2011), et de prises de décisions rationnelles basées sur des indicateurs, comme dans le pilotage d'une entreprise ou la balance bénéfico-risque d'acteurs économiques de marchés (Dourish, 2010). Or, l'observation et l'analyse de la vie quotidienne, plutôt que du point de vue de la gestion de ressources (Strengers, 2014), devraient s'aborder par des théories sur les pratiques sociales (Strengers, 2011). Certaines pratiques sociales sont non négociables et d'autres évoluent selon les époques sans que cela puisse s'expliquer rationnellement (Strengers, 2011) : une entropie plafonne ainsi les gains possibles (environ 20% au plus) et la seule volonté des concepteurs est insuffisante. Le changement climatique est finalement juste une raison parmi d'autres entrant dans les prises de décision : le confort de la vie moderne, la nécessité de travailler, sans se marginaliser, en sont autant d'autres qui limitent l'adoption massive de comportements vertueux. Constater l'impact limité des alarmes répétées lancées par les scientifiques sur le changement climatique (Kendall & 1,575 scientist signatories, 1992 ; Ripple et al., 2017) suffit à s'en rendre compte.

2.2 Qui produit des effets de bord

L'effet observé sur le comportement est parfois contraire à l'intention initiale du concepteur. La comparaison sociale, par exemple, est une fonction de persuasion qui peut encourager des personnes déjà impliquées dans un comportement pro-environnemental à faire encore plus (Erickson et al., 2013), mais la comparaison sociale peut aussi déculpabiliser des personnes qui consomment moins que la moyenne et qui se mettent alors à consommer davantage (c'est-à-dire, comme un effet de boomerang (Schultz et al., 2007)). La comparaison sociale devrait donc intervenir qu'après adhésion préalable à des valeurs pro-environnementales.

Donner de l'information sur ce que les gens ne *doivent* pas faire (mais qui sont des pratiques sociales nécessaires qu'ils font quand même, pour des raisons culturelles ou de commodité), peut se révéler inefficace : les gens culpabilisent, ressentent de ne pas avoir de contrôle, et deviennent moins enclins à adopter un comportement pro-environnemental (Blackmore et al., 2013, p. 35 ; Knowles et al., 2014b). Des systèmes persuasifs qui poussent les gens à réfléchir s'ils *peuvent* aider est une stratégie plus probante (Weinstein et al., 2010).

Quantifier les conséquences du changement de comportement est une stratégie pour encourager les personnes engagées et maintenir leur engagement. Rendre compte des efforts et fixer des objectifs aident aussi à réguler le comportement pro-environnemental et à progresser. Seulement, lorsque la quantification et les objectifs fixés sont pécuniaires, rien ne garantit que les économies réalisées ne soient pas dépensées dans des activités ou des achats encore plus polluants (Knowles et al., 2014b).

2.3 Qui s'affranchit de convaincre

Les systèmes persuasifs conçus dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine contre le changement climatique manquent d'éléments de réflexion forts (Knowles et al., 2014b) pour convaincre de l'importance de protéger l'environnement :

« Le défi de la persuasion ne doit pas être d'engager des personnes dans des comportements pro-environnementaux alors qu'ils ne se préoccupent pas vraiment de l'environnement, mais plutôt de faire que les gens se préoccupent vraiment de l'environnement. »

Il serait bénéfique de faire vivre des expériences (faire une activité, lire un texte, explorer des fictions, ...) pour adhérer aux valeurs pro-environnementales (Knowles, 2013) et à un futur ambitieux (Knowles et al., 2014a). Même si parfois convaincre ne suffit pas, comme lorsque les idées de l'individu s'alignent sur son comportement (Fointiat et al., 2013), changer d'attitude ou rendre une attitude plus résistante peut tout de même être un préalable nécessaire pour consentir à des efforts et que le comportement s'aligne sur les attitudes.

2.4 Et qui cible des gestes individuels

Une dernière critique est de cibler de « petits gestes » environnementaux. Focaliser sur les individus et sur les comportements est trop restreint : le gain possible sera faible car les individus s'inscrivent dans un contexte socio-culturel et politique (Brynjarsdóttir et al., 2012). Dévier de la norme en vigueur reviendrait à se marginaliser. La cible devrait plutôt être d'instaurer ou d'accompagner des pratiques partagées socialement (Pierce et al., 2013) et de persuader les utilisateurs qu'ils partagent tous les mêmes intérêts (Dourish, 2010).

Exiger de petits gestes est un aveuglement. Rien n'indique dans la définition de la persuasion technologique que les gestes doivent être petits ou conséquents. Éteindre la lumière est important. Refermer le robinet l'est aussi. Néanmoins, ces gestes simples, que chacun peut certes faire individuellement (sans attendre le reste de la société), esquivent les vrais choix de mode de vie plus difficiles à faire pour aller vers une société soutenable (Brynjarsdóttir et al., 2012). De plus, l'impact de ces petits gestes restera limité : « les conséquences d'améliorations marginales au niveau individuel seront des améliorations marginales au niveau collectif » (Knowles et al., 2014b). Enfin, faire penser que de petits gestes suffisent amoindrit la réalité de l'ampleur et de l'importance du problème environnemental à venir. La stratégie des mini-habitudes (*tiny habits*) de Fogg (2019) propose d'opérer le changement de comportement en le découpant en plus petites étapes (*baby steps*). Les systèmes persuasifs conçus dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine pour la soutenabilité n'incluent cependant pas de mécanisme amenant vers des gestes plus conséquents.

Enfin, les gestes individuels font peser une lourde responsabilité. Demander à chacun de faire un petit geste individuel fait reposer la responsabilité du changement climatique sur les épaules des consommateurs (Knowles et al., 2014a). Mieux attribuer les responsabilités aiderait à mieux déterminer les objectifs à atteindre par l'ensemble des acteurs sociaux, comme les entreprises ou les états (Dourish, 2010).

3 DISCUSSION

Les défauts précédemment mis en exergue sont causés par un cadrage trop étroit du défi environnemental, comme s'il s'agissait d'un ensemble de petits problèmes à résoudre en optimisant le comportement des consommateurs. Cette démarche de « changement progressif (incrémental, pas à pas) » s'oppose à un « changement systémique » plus radical (Brynjarsdóttir et al., 2012 ; Knowles et al., 2018). C'est-à-dire que plutôt que d'optimiser les comportements individuels, l'objectif devrait être de faire adopter de nouvelles pratiques partagées au niveau social (Blevis, 2007 ; Brynjarsdóttir et al., 2012 ; Pierce et al., 2013) et de relier et de connecter les gens au niveau où les bénéfices de leurs pratiques communes seront visibles et opérants (Dourish, 2010).

De telles nouvelles pratiques restent à imaginer. Laver son linge les jours ensoleillés et fabriquer son pain les jours de vent sont par exemple des propositions pour profiter de l'énergie locale (Pierce & Paulos, 2012). Surtout, le rôle de l'Interaction Homme-Machine dans ces nouvelles pratiques, ou dans leur création, leur promotion ou leur adoption, reste à

établir. L'évolution des pratiques partagées socialement s'explique parfois autrement que par des actions rationnelles, comme par exemple la succession de différentes périodes de la toilette corporelle depuis le XVII^e siècle (Strengers, 2011).

Mais les interfaces homme-machine pour la soutenabilité sont potentiellement autres que celles imaginées spécifiquement comme telles. Ces interfaces pourraient prendre la forme d'interfaces homme-machine favorisant la mise en relation de personnes pour, par exemple, le partage systématique des véhicules ou la location à grande échelle de biens de consommation entre particuliers.

Somme toute, au-delà des comportements des consommateurs (particuliers ou employés), les pratiques économiques sont également à revoir, comme l'obsolescence prématurée (Blevis, 2007). Knowles et al. (2018) suggèrent que l'Interaction Homme-Machine pour la soutenabilité ne doit pas rester apolitique et proposent de s'appuyer sur les investigations de Klein (2015) pour réorienter et fédérer les différentes approches de la communauté. Klein (2015) démontre que le problème climatique doit être envisagé plus largement qu'au niveau technologique : le vrai blocage se situe au niveau des obstacles politiques et idéologiques. Selon Klein, le problème du changement climatique doit être résolu en amont, à la racine de ses causes : le système économique du capitalisme contemporain et de l'idéologie néolibérale du marché libre doit être remis en cause. Dès lors, les solutions à étudier en Interaction Homme-Machine doivent contribuer à faire réaliser les conséquences à venir, à comprendre qu'il est possible de vivre autrement, à construire un nouveau système économique, à favoriser les réponses locales, à aspirer à un autre avenir possible et à mobiliser les citoyens, sont autant de pistes (Knowles et al., 2018). Ce positionnement large peut effectivement être une source d'inspiration pour fonder les origines de pratiques novatrices. Ces idées suggèrent notamment que la procrastination depuis le premier avertissement des scientifiques en 1992 (Kendall & 1,575 scientist signatories, 1992) ne permet plus de se contenter d'optimisations mais d'étudier dès aujourd'hui des alternatives radicales (Knowles et al., 2018).

Les arguments de la controverse dénoncent de nombreux aspects des travaux de recherche initiaux, sans toutefois dessiner d'exemple concret représentant le devenir de l'Interaction Homme-Machine pour la soutenabilité. Ce n'est pas tant l'utilisation de la persuasion technologique qui est incriminée, que la définition des objectifs à atteindre et d'une stratégie globale, politique et sociale : les technologies persuasives sont uniquement des outils pour atteindre ces objectifs. Poser les bonnes questions est un préalable aux réponses pertinentes. L'opportunité est donc ouverte d'être force de proposition. Engager à faire de petits gestes (utiles) peut se voir comme un pied-dans-la-porte (Joule & Beauvois, 1987) pour demander des efforts plus conséquents par la suite. Mais, quelle suite ? (c'est-à-dire, quelles pratiques ?) Et surtout, quelles missions doivent assumer l'Interaction Homme-Machine et les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) ?

Le rapport spécial du GIEC¹, approuvé le 8 octobre 2018 sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C (Allen et al., 2018) prévient que le délai est désormais de douze ans pour limiter la hausse globale des températures à 1,5°C (par rapport aux niveaux préindustriels) et rester dans un monde proche de celui que nous connaissons², sachant que les conséquences d'un réchauffement de 2°C seront deux fois plus impactantes qu'à 1,5°C : ce délai doit être utilisé pour réduire de moitié les émissions nettes de CO₂ d'ici à 2030 (moins 45%), pour ensuite atteindre des émissions de CO₂ nulles en 2050 (moins 100%). L'atteinte de ces deux objectifs passe par un plan d'action mondial : la « nouvelle donne verte » (*Green New Deal*). Ce plan d'action doit être conduit tant sur le flanc social et politique (Klein, 2019) que sur le flanc économique et technologique (Rifkin, 2019) pour sortir

¹ GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat est un organisme créé en 1988 qui dépend de l'ONU.

² Actuellement, la hausse globale des températures est déjà de 1°C par rapport aux niveaux préindustriels. La trajectoire actuelle, si rien n'est entrepris, conduira à une hausse des températures globales estimée de 3°C à 5°C par rapport aux niveaux préindustriels.

de la « civilisation industrielle fondée sur les combustibles fossiles ». L'accompagnement des comportements durant ce plan d'action et l'assistance des nouveaux modes de vie dans le contexte résultant sont autant de pistes de recherche à ouvrir pour réorienter les travaux de l'Interaction Homme-Machine pour la soutenabilité.

Il est aujourd'hui nécessaire de cerner le contour des possibles pour l'Interaction Homme-Machine contre le changement climatique. Quelles compétences peuvent être mises à profit ? Devrions-nous en rester à ce que nous savons faire : comme recueillir le besoin, concevoir, développer, évaluer... (Strengers, 2011), plutôt que de vouloir sauver la planète en révolutionnant la société ? Les questions sont volontairement provocatrices, car les efforts consentis sont encore insuffisants alors que l'urgence est là. Si tant est que nous pensions que l'Interaction Homme-Machine peut contribuer de manière spécifique à la soutenabilité, nous devrions renforcer la mobilisation de la communauté en nous emparant de ces questions.

4 CONCLUSION

Plusieurs articles scientifiques mettent en évidence les limitations de l'approche première, à savoir la réduction individuelle de la consommation, entreprise par l'Interaction Homme-Machine pour aborder le problème du changement climatique. La controverse qui en résulte souligne une conception moderniste et experte, qui produit des effets de bord, qui s'affranchit de convaincre et qui cible des (petits) gestes individuels. Une meilleure appropriation par la communauté des arguments développés doit aider à réorienter les travaux de recherche. Plutôt que de chercher à modifier les comportements individuels, il est suggéré de s'orienter vers la création de nouvelles pratiques sociales. Cette deuxième approche, plus radicale, s'inscrit dans l'anticipation de changements systémiques plutôt que progressifs. L'Interaction Homme-Machine doit s'emparer de la question pour repenser sa contribution pour relever le défi climatique. Une direction envisagée pour concilier et aligner les deux approches autour d'un dessein commun est de s'appuyer sur les investigations, d'une part, de Naomi Klein en incluant et en ciblant les blocages politiques et idéologiques qui empêchent de répondre au problème climatique depuis plusieurs décennies et, d'autre part, de Jeremy Rifkin pour sortir de la civilisation fondée sur les énergies fossiles.

LES PERSPECTIVES D'APPLICATION DE CETTE RECHERCHE :

- ✓ Remédier aux limites du changement des comportements individuels de consommation.
- ✓ Orienter les travaux de recherche vers la création de pratiques partagées socialement.
- ✓ Interroger l'Interaction Homme-Machine sur le rôle à jouer dans le défi climatique.
- ✓ Concilier les approches avec une source d'inspiration ambitieuse commune.

5 REFERENCES

- ▶ Aarts, E., Markopoulos, P., & de Ruyter, B. (2007). The Persuasiveness of Ambient Intelligence. In *Security, Privacy, and Trust in Modern Data Management*, Part V, Springer, Berlin, Germany, pp. 367–381.
- ▶ Allen, M., Babiker, M., Chen, Y., et al. (2018). *GLOBAL WARMING OF 1.5 °C – an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Technical report, IPCC/WMO, Geneva, Switzerland.
- ▶ Arroyo, E., Bonanni, L., & Selker, T. (2005). Waterbot: Exploring Feedback and Persuasive Techniques at the Sink. In *Proceedings of the 23rd SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '05, ACM, New York, NY, USA, pp. 631–639.
- ▶ Blackmore, E., Underhill, R., McQuilkin, J., & Leach, R. (2013). *Common Cause for Nature: Values and Frames in Conservation*. Technical report, Public Interest Research Centre, Machynlleth, Wales, UK.

- ▶ Blevis, E. (2007). Sustainable Interaction Design: Invention & Disposal, Renewal & Reuse. In *Proceedings of the 25th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '07, ACM, New York, NY, USA, pp. 503–512.
- ▶ Brynjarsdóttir, H., Håkansson, M., Pierce, J., Baumer, E., DiSalvo, C., & Sengers, P. (2012). Sustainably Unpersuaded: How Persuasion Narrows Our Vision of Sustainability. In *Proceedings of the 30th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, ACM, New York, NY, USA, pp. 947–956.
- ▶ Cano, G., Laurillau, Y., & Calvary, G. (2015). Persuasion technologique et Energie : revue critique de l'état de l'art. *Journal d'Interaction Personne-Système*, 4(1):48–68.
- ▶ Coutaz, J. (2013). Essai sans prétention sur l'Interaction Homme-Machine et son évolution. *1024 : Bulletin de la Société Informatique de France*, (1):15–33.
- ▶ Daniel, M., Rivière, G., Couture, N., & Kreckelbergh, S. (2016). Une analyse des Systèmes Interactifs et Persuasifs pour la maîtrise de l'énergie. In *Actes de la 28e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, IHM 2016, ACM Press, pp. 197–210.
- ▶ Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From Game Design Elements to Gamefulness: Defining "Gamification". In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, MindTrek '11, ACM, New York, NY, USA, pp. 9–15.
- ▶ DiSalvo, C., Sengers, P., & Brynjarsdóttir, H. (2010). Mapping the Landscape of Sustainable HCI. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, ACM, New York, NY, USA, pp. 1975–1984.
- ▶ Dourish, P. (2010). HCI and Environmental Sustainability: the Politics of Design and the Design of Politics. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '10, ACM, New York, NY, USA, pp. 1–10.
- ▶ Erickson, T., Li, M., Kim, Y., Deshpande, A., Sahu, S., Chao, T., Sukaviriya, P., & Naphade, M. (2013). The Dubuque Electricity Portal: Evaluation of a City-scale Residential Electricity Consumption Feedback System. In *Proceedings of the 31st SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, ACM, New York, NY, USA, pp. 1203–1212.
- ▶ Fenicio, A. & Calvary, G. (2015). Persuasion through an Ambient Device: Proof of Concept and Early Evaluation of CRegrette, a Smoking Cessation System. In *Proceedings of the 12th European Conference on Ambient Intelligence*, Aml'2015, Springer International Publishing, Cham, Switzerland, pp. 252–267.
- ▶ Fenicio, A., Laurillau, Y., & Calvary, G. (2017). Persuasive events and user's roles in mobile-based interactive solutions for nature discovery. In *Proceedings of the 14th EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services*, Mobiquitous'17, ACM, New York, NY, USA, pp. 511–519.
- ▶ Fointiat, V., Girandola, F., & Gosling, P. (2013). *La dissonance cognitive quand les actes changent les idées*. Armand Colin, Paris, France.
- ▶ Fogg, B. J. (1998). Persuasive Computers: Perspectives and Research Directions. In *Proceedings of the 16th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '98, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co, New York, NY, USA, pp. 225–232.
- ▶ Fogg, B. J. (2003). *Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, USA.
- ▶ Fogg, B. J. (2019). *Tiny Habits: The Small Changes That Change Everything*. Houghton Mifflin Harcourt, Boston, MA, USA.
- ▶ Froehlich, J., Findlater, L., & Landay, J. (2010). The Design of Eco-feedback Technology. In *Proceedings of the 28th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, ACM, New York, NY, USA, pp. 1999–2008.
- ▶ Froehlich, J., Findlater, L., Ostergren, M., Ramanathan, S., Peterson, J., Wragg, I., Larson, E., Fu, F., Bai, M., Patel, S., & Landay, J. A. (2012). The Design and Evaluation of Prototype Eco-feedback Displays for Fixture-level Water Usage Data. In *Proceedings of the 30th SIGCHI*

Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12, ACM, New York, NY, USA, pp. 2367–2376.

- ▶ Gustafsson, A., Katzeff, C., & Bang, M. (2010). Evaluation of a Pervasive Game for Domestic Energy Engagement among Teenagers. *Comput. Entertain.*, 7(4):54:1–54:19.
- ▶ Ham, J. & Midden, C. (2010). Ambient Persuasive Technology Needs Little Cognitive Effort: The Differential Effects of Cognitive Load on Lighting Feedback Versus Factual Feedback. In *Proceedings of the 5th International Conference on Persuasive Technology*, PERSUASIVE '10, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 132–142.
- ▶ Ham, J., Midden, C., & Beute, F. (2009). Can ambient persuasive technology persuade unconsciously?: using subliminal feedback to influence energy consumption ratings of household appliances. In *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, PERSUASIVE '09, ACM, New York, NY, USA, Article 29, 6 pages.
- ▶ Hamari, J., Koivisto, J., & Pakkanen, T. (2014). Do Persuasive Technologies Persuade? – A Review of Empirical Studies. In *Proceedings of the 9th International Conference on Persuasive Technology*, PERSUASIVE '14, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 118–136.
- ▶ Heller, F. & Borchers, J. (2011). PowerSocket: Towards On-outlet Power Consumption Visualization. In *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, ACM, New York, NY, USA, pp. 1981–1986.
- ▶ Intille, S.S. (2002). Designing a Home of the Future. *IEEE Pervasive Computing*, 1(2):80–86.
- ▶ Jain, R. & Wullert, J. (2002). Challenges: environmental design for pervasive computing systems. In *Proceedings of the 8th annual international conference on Mobile computing and networking*, MobiCom '02, ACM, New York, NY, USA, pp. 263–270.
- ▶ Joule, R.-V. & Beauvois, J.-L. (1987). *Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens*. Presses universitaires de Grenoble, Grenoble, France.
- ▶ Kendall, H. & 1,575 scientist signatories (1992). World Scientists' Warning to Humanity. Union of Concerned Scientists.
- ▶ Klein, N. (2015). *Tout peut changer : Capitalisme et changement climatique*. Actes Sud, Arles, France.
- ▶ Klein, N. (2019). *Plan b pour la planète: le new deal vert*. Actes Sud, Arles, France.
- ▶ Knowles, B. (2013). Re-imagining Persuasion: Designing for Self-transcendence. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '13, ACM, New York, NY, USA, pp. 2713–2718.
- ▶ Knowles, B., Bates, O., & Håkansson, M. (2018). This Changes Sustainable HCI. In *Proceedings of the 36th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, ACM, New York, NY, USA, Article 471, 12 pages.
- ▶ Knowles, B., Blair, L., Coulton, P., & Lochrie, M. (2014a). Rethinking Plan A for Sustainable HCI. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, ACM, New York, NY, USA, pp. 3593–3596.
- ▶ Knowles, B., Blair, L., Walker, S., Coulton, P., Thomas, L., & Mullagh, L. (2014b). Patterns of Persuasion for Sustainability. In *Proceedings of the 2014 Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '14, ACM, New York, NY, USA, pp. 1035–1044.
- ▶ Kuznetsov, S. & Paulos, E. (2010). Upstream: Motivating water conservation with low-cost water flow sensing and persuasive displays. In *Proceedings of the 28th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, ACM, New York, NY, USA, pp. 1851–1860.
- ▶ Mankoff, J. C., Blevis, E., Borning, A., Friedman, B., Fussell, S. R., Hasbrouck, J., Sengers, P., & Woodruff, A. (2007). Environmental sustainability and interaction. In *CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '07, ACM, New York, NY, USA, pp. 2121–2124.
- ▶ Morozov, E.V. (2014). *Pour tout résoudre cliquez ici: L'aberration du solutionnisme technologique*. FYP Editions, Limoges, France.

- ▶ Negri, A.-L. & Senach, B. (2015b). Systèmes ludo-persuasifs pour la consommation durable : 2 – Elaboration d'une grille de principes ludo-persuasifs. *Journal d'Interaction Personne-Système*, 4(1):141–162.
- ▶ Piccolo, L. S. G., Baranauskas, C., & Azevedo, R. (2017). A socially inspired energy feedback technology: challenges in a developing scenario. *AI & Society*, 32(3):383–399.
- ▶ Pierce, J. & Paulos, E. (2012). The local energy indicator: designing for wind and solar energy systems in the home. In *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference*, DIS '12, ACM, New York, NY, USA, pp. 631–634.
- ▶ Pierce, J., Strengers, Y., Sengers, P., & Bødker, S. (2013). Introduction to the Special Issue on Practice-oriented Approaches to Sustainable HCI. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 20(4):20:1–20:8.
- ▶ Rifkin, J. (2019). *Le new deal vert mondial*. Les Liens Qui Libèrent, Paris, France.
- ▶ Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M. I., Laurance, W. F., & 15,364 scientist signatories from 184 countries (2017). World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. *BioScience*, 67(12):1026–1028.
- ▶ Rodgers, J. & Bartram, L. (2011). Exploring Ambient and Artistic Visualization for Residential Energy Use Feedback. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(12):2489–2497.
- ▶ Schultz, P. W., Nolan, J. M., Cialdini, R. B., Goldstein, N. J., & Griskevicius, V. (2007). The Constructive, Destructive, and Reconstructive Power of Social Norms. *Psychological science*, 18(5):429–434.
- ▶ Silberman, M.S., Nathan, L., Knowles, B., Bendor, R., Clear, A., Håkansson, M., Dillahunt, T., & Mankoff, J. (2014). Next steps for sustainable HCI. *Interactions*, 21(5):66–69.
- ▶ Strengers, Y. (2011). Designing Eco-feedback Systems for Everyday Life. In *Proceedings of the 29th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, ACM, New York, NY, USA, pp. 2135–2144.
- ▶ Strengers, Y. (2014). Smart energy in everyday life: are you designing for resource man? *Interactions*, 21(4):24–31.
- ▶ Valkanova, N., Jordà, S., Tomitsch, M., & Vande Moere, A. (2013). Reveal-it!: The Impact of a Social Visualization Projection on Public Awareness and Discourse. In *Proceedings of the 31st SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, ACM, New York, NY, USA, pp. 3461–3470.
- ▶ Weinstein, N., Hodgins, H. S., & Ryan, R. M. (2010). Autonomy and Control in Dyads: Effects on Interaction Quality and Joint Creative Performance. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 36(12):1603–1617.
- ▶ Weiser, M. & Brown, J. S. (1996). Designing Calm Technology. *PowerGrid Journal*, 1(1):75–85.

6 BIOGRAPHIE



Guillaume RIVIÈRE

est Professeur Assistant en informatique à l'école d'ingénieurs ESTIA. Docteur en Informatique, spécialité Interaction Homme-Machine (Bordeaux, 2009). Autorisé à Diriger des Thèses (Bordeaux, 2015). Qualifié aux fonctions de Maître de Conférences (Section CNU 27). Il enseigne la programmation et les systèmes d'information aux élèves ingénieurs, et intervient sur les interfaces ubiquitaires en cycle ingénieur et en master à l'université. Son domaine de recherche est l'interaction tangible depuis 2005. Ses recherches, conduites à Estia-Recherche et au LaBRI, portent sur l'étude des propriétés des interfaces utilisateur tangibles et sur la classification des interfaces utilisateur tangibles. Il applique ses recherches à des domaines comme la géophysique, l'archéologie et, plus récemment, l'intégration des énergies renouvelables. Il a co-créé et co-animé le GT Interaction Tangible de l'AFIHM de 2011 à 2018. Depuis 2019, il co-anime le GT Interaction Persuasive pour la Soutenabilité de l'AFIHM (PISTIL). Il est membre de la Société Informatique de France (SIF), de l'Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM) et de l'ACM.

Process of change: states, transitions, and determinants

Alessandro Fenicio, Yann Laurillau, Gaëlle Calvary

► **To cite this version:**

Alessandro Fenicio, Yann Laurillau, Gaëlle Calvary. Process of change: states, transitions, and determinants. Journal d'Interaction Personne-Système, Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM), 2020, Special Issue: PISTIL 2, 9 (1). hal-03123607

HAL Id: hal-03123607

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03123607>

Submitted on 28 Jan 2021

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.



Process of change: states, transitions, and determinants

Alessandro FENICIO

Univ. Grenoble Alpes, CNRS,
Grenoble INP, LIG, F-38000,
Grenoble, France

Alessandro.Fenicio@univ-grenoble-alpes.fr

Yann LAURILLAU

Univ. Grenoble Alpes, CNRS,
Grenoble INP, LIG, F-38000,
Grenoble, France

Yann.Laurillau@imag.fr

Gaëlle CALVARY

Univ. Grenoble Alpes, CNRS,
Grenoble INP, LIG, F-38000,
Grenoble, France

Gaëlle.Calvary@imag.fr

Abstract. The goal of persuasion is to change the behaviour or the attitude of a person without using any form of coercion (Oinas et al. 2010). In the last ten years, several models, approaches and theories have been developed in the research field of persuasion, producing a copious scientific literature. Different reviews of the state-of-the-art focusing on specific aspects have been proposed. Pindel et al. (Pinder et al. 2018) for example analyse the state of the art under the perspective of the mechanisms that lead to the habit forming. In this work, we report a state-of-the-art review on the key elements of the process of change using the concepts of states, transitions, and determinants to propose a common generic paradigm. We conclude with a discussion about the operationalization of persuasive processes and with a comparative analysis on the reviewed theories.

Keywords: process of change, persuasion, persuasive technologies.

Résumé. Si le but et les garde-fous éthiques de la persuasion sont aujourd'hui bien compris, la littérature est abondante et les analyses critiques multiples, sans qu'un langage de comparaison n'ait été défini. Cet article propose les concepts d'états, de transitions et de déterminants pour caractériser les travaux de la littérature et ainsi en faciliter la compréhension et la comparaison. L'opérationnalisation de ce cadre ouvre des perspectives intéressantes au domaine.

Mots-clés : processus de changement, persuasion, technologies persuasives.

Édité par Pr. J.M.C. Bastien (Université de Lorraine) & Pr. G. Calvary (Univ. Grenoble Alpes)

1 INTRODUCTION: DEFINING A PROCESS OF CHANGE

Persuasive technologies were initially introduced by B.J. Fogg with the term “Captology” (computers as persuasive technologies) (Fogg 1998). They were intended to alter one or more particular behaviours of users. In the last ten years, their principles have been applied to mobile, web and wearable technologies, permitting the growth of a dedicated research field.

Human Computer Interaction has investigated how to operationalize the persuasive theories, which are grounded in social psychology and cognitive sciences. Nowadays, the applications of persuasive systems are numerous and the research field has produced a copious literature made of formalizations, models and frameworks, not always compatible with each other.

The Persuasive Technologies subject presents several challenges, such as the maintenance of the behaviour change over the time or the issues coming from ethic and privacy (Pinder et al. 2018). Also figures the need of bridging the gap between the theoretical models available in the literature and the concrete implementations in practice. Nowadays developers of interactive systems often approach persuasion as a pick-and-mix cocktail of strategies and models, which may result difficult to be reliable, especially from an evaluation point of view.

Pinder (Pinder et al. 2018) reviewed the literature in persuasion, focusing on habit formation. The outcome is the theorization of a new model called the HAM (Habit Alteration Model) able to synthesize most of the classical theories in persuasion. However a persuasive interactive system, in addition to the theoretical foundations, also needs concrete interactive features to support and sustain the user in the process of change. For this reason, in this work, we investigate the key elements of the process of change in order to give new clues to operationalize the development of interactive persuasive systems.

RESEARCH PROBLEM:

- ✓ The state of the art in persuasion is copious which makes it difficult for non-experts to master all the different approaches.
- ✓ This ample literature is often reflected by a pick-and-mix cocktail of concepts/features when developers approach the design and the implementation task.

In order to accomplish our research purpose, we review the state-of-the-art in persuasion focusing on the characteristics of the process of change. Successively we enlighten some key elements necessary to operationalize persuasive interactive systems and finally we perform a comparative analysis.

CONTRIBUTION OF THIS RESEARCH:

- ✓ Review of the state of the art in persuasion evidencing the concepts of states, transitions, and determinants for each approach.
- ✓ Review of the key elements for implementing persuasion.
- ✓ Comparative analysis of the reviewed persuasive approaches as resources to support the operationalization and implementation of persuasion.

2 PERSUASION AND THE PROCESS OF CHANGE: STATE-OF-THE-ART

The English Oxford Dictionary gives the following definition for the word “process” “A series of actions or steps in order to achieve a particular end”, while the word “change” is defined as “An act or process through which something becomes different”. Both indicate an initial and final status as well as the concept of transition. Indeed the ultimate goal of persuasion consists of changing a given behavior.

Systems in charge of carrying on this change are called "behaviour change support systems" by Oinas Kukkonen, defined as "an information system designed to form, alter or reinforce attitudes, behaviours or an act of complying without using deception, coercion or inducements (Oinass et al. 2010). B. Fogg defines the persuasive technologies that address behaviour change as "any interactive product designed to change attitudes or behaviours by making desired outcomes easier to achieve" (Fogg 2009).

A behavioural change process is not instantaneous. Instead it is a set of transitions that drives individuals from an initial state through a series of events altering their habits, in order to achieve a final state where the desired change has been (durably) achieved. Pinder et al. (Pinder et al. 2018) analyse different elements of the process of change combining them into the HAM (Habit Alteration Model) model. In our work, we proceed using a similar approach in reviewing the state-of-the-art, but aiming to investigate a new direction to operationalize the process of change.

Operationalizing the process of change means to have a generic implementable structure able to describe and embed its elements. We propose to adopt a simple representation of process: an automaton made of **states, transitions, and determinants**. The **states** represent the several steps that the user has to go while changing (ex. contemplating the change, preparing to change, maintaining the habit). A **transition** is a link between two states. For example, after having performed a first behaviour, a transition may guide the user to perform a successive one, possibly more complex than the previous one. The fact that the user has mastered the first behaviour may be a **determinant** factor enacting the transition. Thereby the user successively progresses along the states, towards the change.

In the following sections we review different approaches of the state-of-the-art with the objective of finding a transcription, for each model or approach, by using an automaton made of states, transitions and determinants. After reviewing the main concepts for each theory, we dedicate a special paragraph called “States, transitions and determinants”, whose objective is to separate the presentation of the theory from our work of representation by using an automaton. All these special paragraphs will be finally synthetized at the end of the work by using a dedicated table. Designers and developers who wish to operationalize the

model of persuasion will thereby have a new clue to compare the theories and elicit the more adequate ones for their purposes.

2.1 Behaviourism and influence

Behavioural scientists and social psychologists have developed a huge literature of models and methods to help users in changing. These contributions that have gone beyond their research field, and have ultimately been applied also to products design, advertisement and marketing. Scientists of these fields study the contextual factors that bring an individual to perform a given action. Assuming a procedural approach to the change, these elements represent the determinants that trigger people to pass from a stage to another in the process. In the following paragraphs, we focus on these specific determinants, linked to behavioural science and social psychology.

2.1.1 Operant conditioning

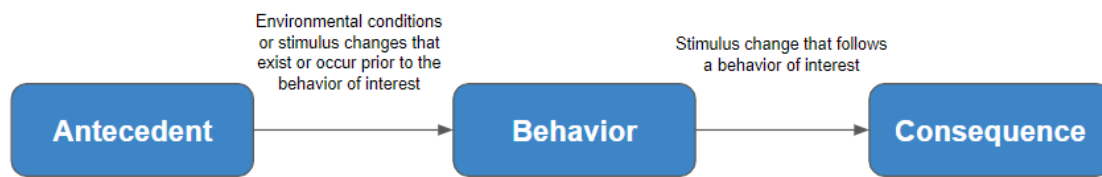
Behaviourists see habits as stimulus-response pairs formed outside conscious decision-making via two mechanisms of associative learning: classical and operant conditioning. The classical is based on creating a stimulus-response pair via repetition: the individual repeats the behaviour every time that the stimulus is driven. In operant conditioning theory initially investigated by Skinner (West and Brown 2013), a “Three-term contingency (SD-R-Rf)” is used: a discriminative stimulus (SD) (the context) sets the occasion for a specific behaviour/response (R) to be reinforced (Rf). The reinforcement could aim either at increasing or decreasing the frequency of the response for a given context. These reinforcements are found to be effective and are actually used not only in the design of persuasive technologies but also in other types of context in which the user is involved in a repetitive process such as marketing, learning, and gambling (e.g. slot machine games).

Operant conditioning focuses also on the study of the efficacy of different types of rewards, such as using a fixed or variable ratio or a fixed or variable interval (Staddon et al. 2003)(Bijou 1957). Relatively to the reward subject, Nir Eyal theorized a model for habit forming associated to technology (Eyal 2014) where three types of rewards are defined: the “reward of the hunt” (materialized in resources and goods such as money and food), “reward of the self” (represented by personal gratification for being consistent with one’s own ideas, mastering an ability, or for completing a particular task) and “reward of the tribe” (expressed by another user through social-likes, comments, ratings, and reviews).

States, transitions, and determinants

The theories of operant conditioning do not make an explicit reference to a set of states to be travelled by user during the process of change. However the mechanism of Three-Term contingency describes a temporality from the moment in which the behaviour is not present, to the moment in which it is performed and reinforced. For this reason, we propose to picture the approach using three states, antecedent (before the behaviour), the behaviour and its consequence (after the behaviour). The environmental conditions or a stimulus determine the performing of the behaviour by the individual. The reinforcement or the punishment can be used as determinant to construct the consequence: reiterating the behaviour for instance or suppressing it.

Figure 1. Proposed automaton



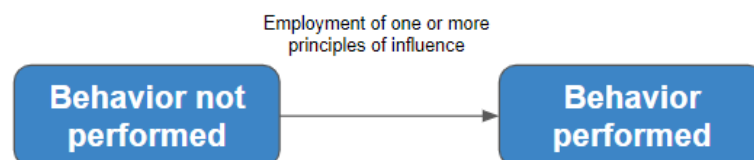
2.1.2 Influence

Reinforcements may take the form of social reconnaissance such as for example being rewarded by someone else in private or public forms (for example by a public message on social network). Robert Cialdini, one reference in the field of influence, has identified a set of influencing people's behaviour principles (Cialdini 1987): "reciprocity" (tendency to return a favour), "commitment and consistency" (by committing to an idea or a goal orally or in writing, people are more likely to honour that commitment), "social proof" (people will do things other people succeeded in), "liking" (people are more easily persuaded by people they like) and "authority" (people tend to obey to authority figures, even if they are asked to perform objectionable acts). Authority has been explored by Milgram who measured the willingness of subjects to obey to an authority figure who was instructing them to perform acts conflicting with their personal conscience (Milgram et al. 1974).

States, transitions, and determinants

The theory of influence does not mention any form of state or transition. However, the principle of influence can be seen as determinants for other state-transition approaches. In this case, we can represent the determinants as activators of transitions between two generic states: the one in which the behaviour is not happening, and a second one in which the behaviour is happening thanks to the use of one of the principle of influence as determinant of the transition.

Figure 2. Proposed automaton



2.2 From dual Process Theory to the likelihood model

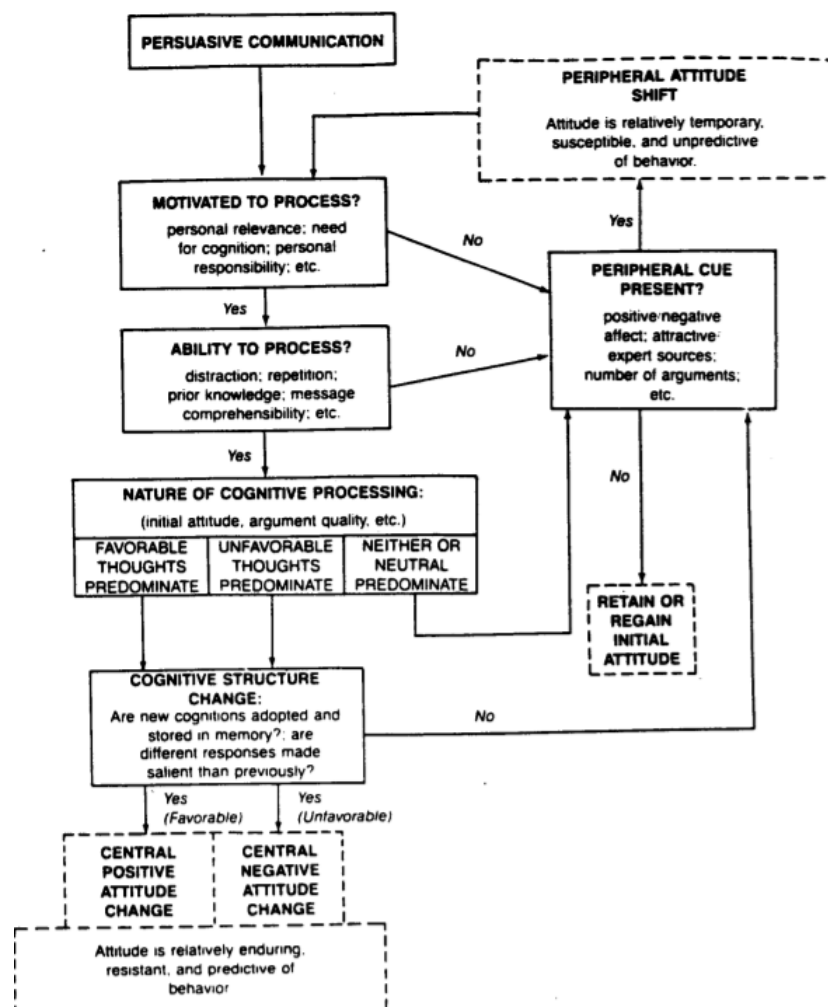
The dual process theory has been initially formulated by William James (William 2013) and then re-elaborated in different studies in the social and psychological fields. The theory describes two different kinds of thinking: a first one based on an associative approach, which is fast and unconscious; a second one based on true reasoning, which is slow and rational. In particular, William James claimed that the experiences of people and their past actions influence the way they approach choices, bringing them to natural repetitive behaviours. On the contrary, new contexts, situations, or unexperienced problems bring people to true reasoning creating new associative knowledge.

Based on the dual process theory, Cacioppo (Petty et al. 1986) has elaborated the likelihood model that explains how a persuasive message is elaborated by people and brings

to an attitude change. Once the message has been delivered to the individual, it may lead to two types of persuasion. A first one which likely resulted from a person's careful and thoughtful consideration of the true merits of the information (central route), a second one, more likely to occur, is the result of cues in the persuasion context that induce the change without necessitating scrutiny of the true merits of the information presented (peripheral route) (Petty et al. 1986).

If the individual is motivated and able to process the message, the central route is travelled. In this scenario, the individual processes the information, elaborating favorable or unfavorable thoughts about changing the attitude. If these thoughts (either favorable or unfavorable) are predominant, they will bring to a cognitive structure change, otherwise they will be redirected to a peripheral route as a cue. When the individual is not able or motivated to elaborate the persuasive message, the peripheral route will be also travelled building to create new peripheral cues. These cues may eventually concur to the evaluation of new persuasive messages to progress in the central route.

Figure 3. Central and peripheral routes to persuasion (Petty et al. 1986)

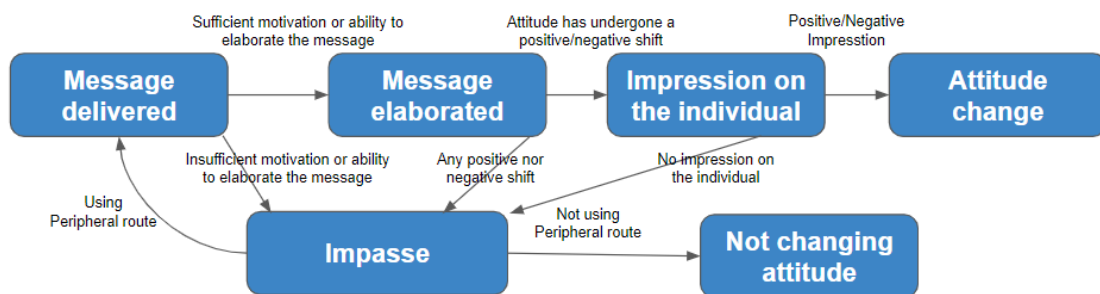


States, transitions, and determinants

The initial stage is the moment in which the persuasive message is delivered. A set of transitions guides the process through the central or peripheral route where an evaluation stage is responsible to estimate two determinants: the ability and the motivation. In a first scenario, the response of this evaluation may be that motivation and ability are not high

enough, which brings to travel the peripheral route that we may represent by using two states: the first where a peripheral attitude change happens (and the central route will be travelled again) or the second where the attitude remains unchanged (final state). In the opposite scenario (when the motivation and the ability are high enough), a transition in the central route brings to a state where a positive (or negative) shift creates an impression in the receiver. This impression will finally bring to the final state where the attitude change in the central route of the receiver will happen (final state).

Figure 4. Proposed automaton



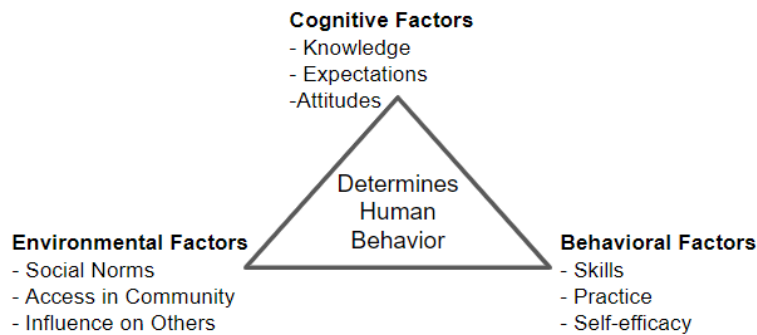
2.3 Context and social cognitive theory

In the theories mentioned so far in this work, we have elicited the context as fundamental factor to operate the transitions among the states of a behavioural change. Context is key in persuasion and deserves to be carefully analysed in order to take advantage of its valuable information.

A. K. Dey defines context as “any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves” (Dey 2001). This definition has been often used to describe the huge amount of information that context involves. Behaviour is strictly influenced by context and for this reason, it is necessary to explicit this aspect when speaking about its causality. This topic has been approached by several scientists such as Skinner and Bandura who mentions that “the behaviour, the environment, the user and the activity form a reciprocal causality. Each of these three elements influences the other two with an intensity that varies according to the situation and the current activity” (Bandura 2001).

Bandura goes further asserting that the determinants of behaviour are originated by a triad of factors: the “cognitive factors” (ex. knowledge, expectation, attitudes), the “environmental factors” (ex. social norms, access in community, influence on others) and the “behavioural factors” (ex. skills, practice, and self-efficacy).

Figure 5. Determinants of human behaviour according to Bandura

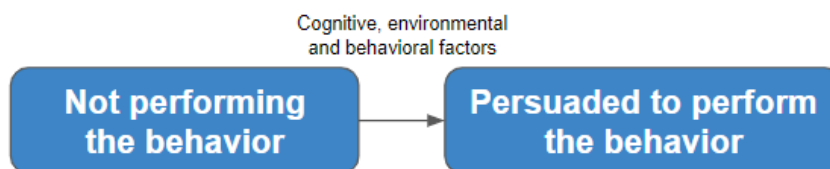


An example of the impact the context has on individuals is CRegrette (Fenicio et al. 2015) where a persuasive device was designed for smoking cessation producing effective or non-effective results depending on the user's context. In particular, the system provided notifications to the users to avoid/reduce smoking at different moments of the day. The system was found to be effective when the notifications were sent in the morning, before going to the workplace. This way, users were taking this suggestion as a challenge for the whole day. Proposing the same suggestion during work hours was ineffective. In some cases, CRegrette was even counterproductive as the action of smoking was triggered to the subjects when at that particular instant, users were not interested in smoking (wrong context).

States, transitions, and determinants

In the perspective of the progression on a process of change made of states transitions and determinants, the contextual variables figure as activators of the transitions between states, and indeed as determinant factors. For example, the environmental factor of "influence on others" may be used to persuade sceptic users in adopting a certain behaviour that other users have already adopted (ex. some friends) triggering a state change. A combination of determinants may also trigger the transition, aligned with Bandura's theory that combines the simultaneous use of different determinants of behaviour (cognitive, environmental and behavioural factor).

Figure 6. Proposed automaton

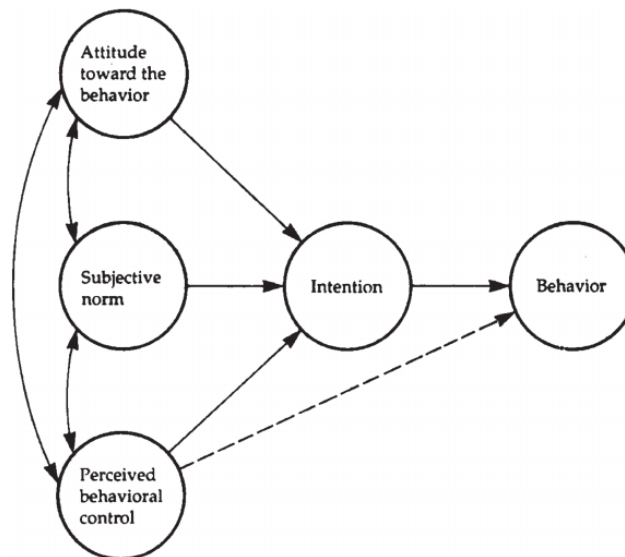


2.4 The theory of planned behaviour

The theory of planned behaviour formalized by Ajzen (Ajzen 1991) is an extension of his precedent theory called reasoned action. The theories attempt to predict how people will behave on the basis of their precedent attitudes and behaviours. The theory is built on three key points. The first investigates what is the attitude toward a certain behaviour: a personal belief that a certain behaviour makes a positive or negative contribution to one's own life. The point considers the "subjective norms", focusing on everything around individuals: their

social networks, cultural norms, group believes, etc. Third point is “perceived behavioural control” (the novelty in respect to the previously formalized theory of reasoned action) which expresses the person’s confidence in performing a certain behaviour. These three points influence one’s intention to change. The intention however is not sufficient to change, thus Ajzen proposed that perceived behavioural control should moderate the relation between the intention to change and the actual performance of the behaviour (this is represented by the dashed path in Figure 7).

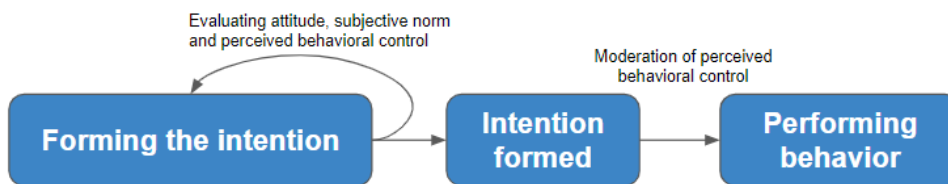
Figure 7. Theory of planned behaviour (Ajzen 1991)



States, transitions, and determinants

We propose three main states for this theory. In the first state, the intention is being formed by an evaluation of attitudes, subjective norm and perceived behavioural control. These determinants trigger a transition to a stage in which the intention is ultimately formed. Before arriving to the intention, multiple iterations of the first stage may be necessary. The final transition toward the third is triggered by the determinant of perceived behavioural control, which moderates the intention to perform the behaviour.

Figure 8. Proposed automaton



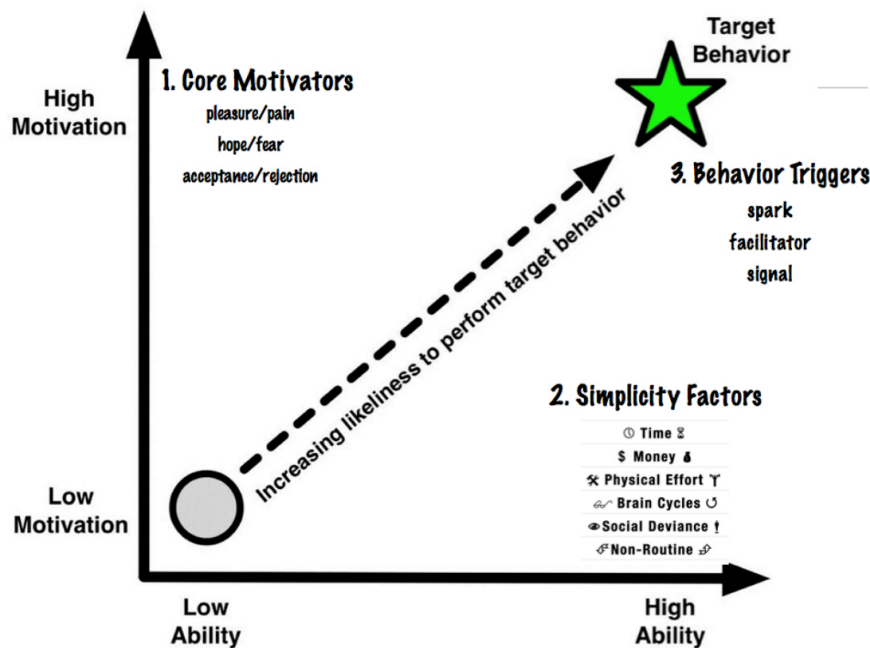
2.5 Motivation and Ability

In behavioural theories, motivation and ability are often considered as contextual factors describing individuals involved in a change. Thus motivation and ability are core concepts of different theories and models. In the following, we analyse some of them, describing how these two variables are represented and what is their role in the behaviour change process.

In the Fogg Behaviour Model, for example, three key elements must be present at the same time in order for users to perform a certain behaviour. These are the motivation to

change (to perform the given behaviour), the ability to change (resources, physical condition, and knowledge) and the presence of a prompt (an element that enacts the action). Motivation and ability are represented as axes in Figure 9 while the prompt is represented by a transversal dashed line. This latter represents that a trade-off between ability and motivation must be encountered in order to perform the target behaviour. Fogg explains that the user's motivation is not constant: it may be affected by some elements central to the human experience such as Pleasure/Pain, Hope/Fear, and Social Acceptance/Rejection. Similarly, the ability may be increased using the following six factors: time, money, physical effort, brain cycles, social deviance, and non-routine.

Figure 9. The Fogg's Behaviour Model (Fogg 2009)

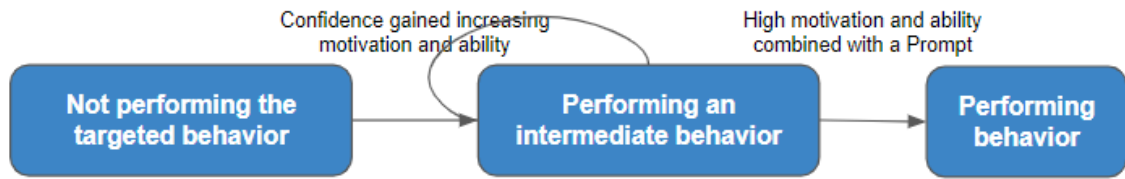


B.J. Fogg illustrates the variability of motivation and ability with the concept of "motivational waves". The theory explains that users should be triggered with small and easy behaviours (named "baby steps") in order to gain confidence in themselves increasing their level of motivation. For a person who wants to start jogging, a suggested practice would be to start with an easy and short itinerary. When motivation is high, the persuasive system should prompt users to perform more difficult tasks (in the case of jogging, try a harder itinerary) or invest this motivation to gain new abilities, for example, to find a new spot where to go jogging or to buy a new pair of shoes.

States, transitions, and determinants

We propose to represent the variability of motivation and ability using three different states: a first one, where motivation and ability are not sufficient to perform the behaviour, a second one, that can be reiterated, where an intermediate behaviour is performed to increase the levels of ability and motivation, and a third one where the two variables are high and thanks to the presence of the prompt the behaviour happens.

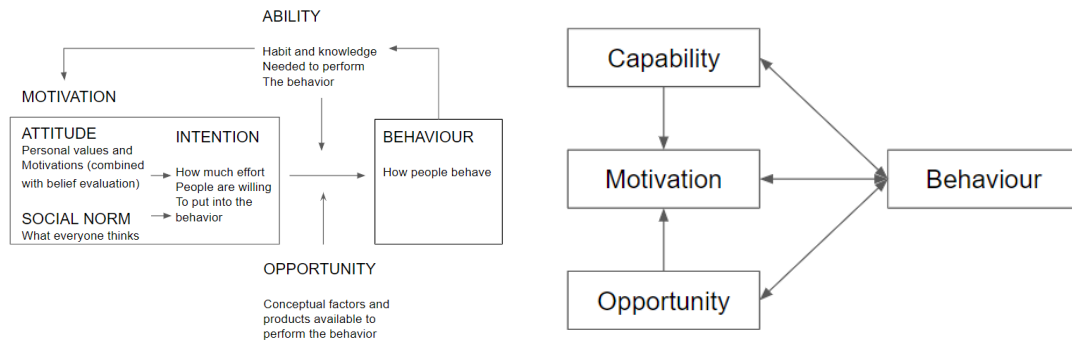
Figure 10. Proposed automaton



2.6 From the Motivation-Opportunity-Ability model to the COM-B model

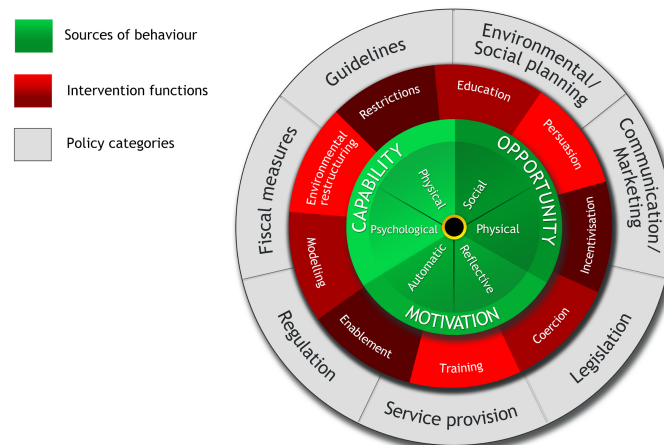
The Motivation Opportunity Ability (MOA) model proposed by Ölander and Thøgersen (Thøgersen et al. 1995) comes from the marketing field. It has been used several times to explain behaviours (Hamari et al. 2014) and persuasive techniques (Huges 2007). Also, this model mentions the Motivation (combination of attitudes and social norms that forms an intention) and the Ability (habit and knowledge needed to perform the behaviour). The opportunities are contextual factors and products available to perform the behaviour. MacInnis (MacInnis et al. 1991) explains that the adoption of a behaviour by subjects is influenced by their motivation to adopt the behaviour moderated by their capacities and the opportunities offered by the environment. The COM-B model also analyses the necessary motivation and (Cap) ability in order to produce the outcome behaviour, but it also includes a framework called the Behavioural Change Wheel (Michie et al. 2011) to operationalize the persuasive strategies.

Figure 11. Motivation Opportunity Ability model (on the left), COM-B model (on the right)



The COM-B Model and the MOA model use similar causal factors. The ability factor results from the combination of psychological and physical capabilities: the motivation is given by reflective and automatic motivation while the opportunities are provided both by the social and the physical environment. Additionally to the MOA approach, the COM-B model comprehends also a framework, the Behaviour Change Wheel, that helps to use the different persuasive strategies. This framework was produced from a literature review of 1267 scientific articles (see Figure 12).

Figure 12. The Behaviour Change Wheel (Michie et al. 2011)

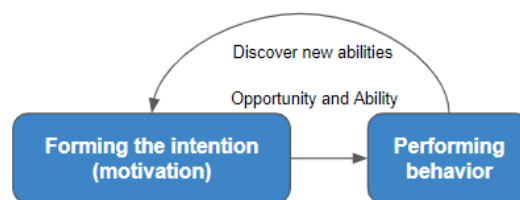


The Behaviour change wheel combines the sources of behaviour (motivations, abilities and opportunities) with a set of intervention functions (restriction, education, persuasion, incentivisation, coercion, training, environmental restructuring, modelling and enablement) and a set of policies (communication marketing, guidelines, fiscal, regulation, legislation, environmental/social planning and service position). In addition, the framework provides the “links” between these components, such as which intervention function can be used for each source of behaviour, or which policy categories work with each intervention function. These links help choosing the intervention to be actuated to enact the behaviour change.

States, transitions, and determinants

The MOA model (operationalized for example through the COM-B model) does not make explicit a set of states. We can however propose to describe the process using a first state (motivation) in which the intention is formed through determinants of social norms and attitude. From this state, a transition triggered by the determinants opportunity and ability bring the user to perform the behaviour. A last transition from this state to the initial one is triggered by the determinant “discovering new abilities” that brings the individual to a new motivation state.

Figure 13. Proposed automaton

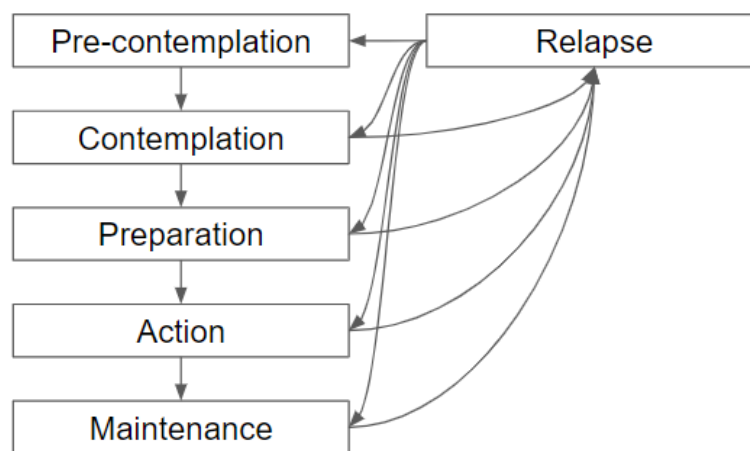


2.7 The Transtheoretical Model of Behaviour Change

The Transtheoretical Model of Behaviour Change (TTM) (DiClemente et al. 1998) was theorized by Prochaska and Di Clemente. It is widely used to describe the process of change. TTM is based on six stages of change, ten processes of change and the concepts of decisional balance and self-efficacy. The model describes the stages that a person must go through when dealing with a behavioural change. The first stage is “pre-contemplation,”

where people are not intending to take any action in the foreseeable future (ex. not aware of the benefits from jogging); in this stage, people may also not be aware that their behaviour has to be changed. The second stage is “contemplation” where the person is considering the pros and cons of their continued action envisaging that a change may be taken (ex. jogging is useful to reduce weight). In the “preparation” stage, people prepare the strategy to take the action in the short term (ex. going to buy shoes for jogging). The action is the stage in which the user has made specific modifications in the behaviour (ex. going to take a first jogging path). Finally, in the “maintenance” stage the person tries to keep the change active, preventing from relapsing (ex. jogging is now a weekly activity).

Figure 14. The stages of the Transtheoretical Model of Behaviour Change

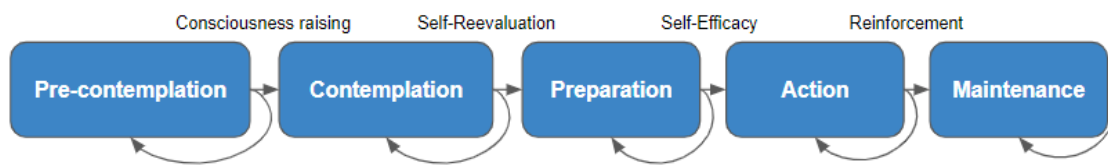


The model presents several strong points. In particular, it discretizes the change in predefined states and is applicable to several domains (notably healthcare). The discretization of the states of the model has been used as a structuring framework to guide the design of persuasive systems. An example of this approach can be found in Greenberg et al. in “One Size Does Not Fit All” (He et al. 2010) and in the article “Persuasive Events and User’s Roles in Mobile-Based Interactive Solutions for Nature Discovery” (Fenicio et al. 2017). On the other hands, the model also presents few limitations such as assuming that people make rational choices rather than acting non-consciously as in habits (Pinder et al. 2018), or the difficult evaluation of the transition between the stages and of their temporality.

States, transitions, and determinants

In the Transtheoretical model of behaviour change, the concept of process of change is embedded in its definition: the five stages can be represented as five states of the model while the transitions between the states are achieved using the ten processes of changes as determinants. For example in order to pass from the state related to the action behaviours to the one related to the maintenance behaviour, it is possible to employ a reward technique (that figures among the ten processes of change of the model) as determinant factor of the transition. For readability, in the proposed automaton we give just one determinant for each transition among the ones employable according to the theory, and we do not represent the phenomenon of relapse. This latter could have been represented by drawing for each state a transition to each precedent states. Moreover the model does not clearly specify the permanence of the individual in each state, for this reason multiple iterations of each state may occur.

Figure 15. Proposed automaton



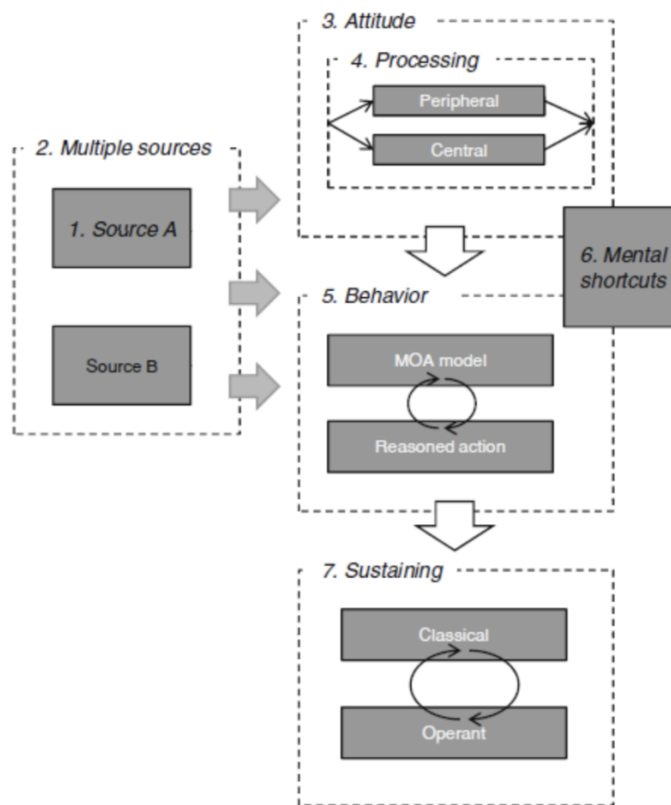
2.8 Ambient Persuasion Model

Kaptein has investigated the personalisation of the persuasive means with the objective to improve their effectiveness (Kaptein 2012). He also investigated ambient persuasive technologies, proposing a model that structures the knowledge from social sciences on persuasion, attitude and behaviour change (Kaptein et al. 2010). Kaptein considers two fundamental axes for persuasion: the first that describes the delivering and reception of the persuasive message to the individual, and the second that describes the actual process of changing attitudes and behaviour towards a state of maintenance. In the model, several approaches and models are discussed to characterise these two axis. We give some examples of them to describe the characteristics of Kaptein's model, readdressing the reader to a complete study of his article (Kaptein et al. 2010) for completeness.

The first axis (from source to receivers) discusses the implication of multiple sources of persuasive requests and the social environment of the receiver. Milgram's experiment (Milgram et al. 1974) is for example mentioned as an example of single source. An authority figure is perceived as more persuasive for the individual and then more effective. In the same perspective the principles of Cialdini (Cialdini 1987) can be used to improve the effectiveness of delivering the persuasive message. For example (for the liking principle), individual will pay more attention to messages delivered by people they like (ex. friends, public figures). Examples of multiple sources take into account mechanisms deriving from more individuals involved in the change. For example the number of people of reference that has engaged into the change, the social proof of people succeeding in the change and the consensus gathered by change are factors that impact persuasiveness.

The second axis (from attitude change to maintenance) discusses the gradual process of changing, as it happened in the first axis, several models are evoked. In the first part of second axis of the model, Kaptein focuses on attitudes, mentioning the notions that contribute to forming them. Mental accessibility, Mood, Ambivalent attitudes are some examples of these notions, completed with detailed analysis on the easy of evaluating and retrieving object from the individual memory. Kaptein evokes the difference between affective- and cognitive-based attitudes, explaining that the origin of the attitudes influences how they can be changed. The axis then threats how the information is processed, and how the decision on performing or not the behaviour is taken. In order to describe this part, Kaptein uses some models in the literature as for example the elaboration likelihood model or the motivation ability opportunity model, previously discussed in this work. Besides the rational central route many attitudes are formed and executed without the elaboration of the receiver. For this reason Kaptein dedicates a particular attention to the subject of the mental shortcuts, relating them to the principles of Cialdini (Cialdini 1987). The last concept of this axis concerns the behaviour maintenance. In this perspective, the aforementioned approaches of behaviourist are employed: the classical reinforcement and the operant conditioning.

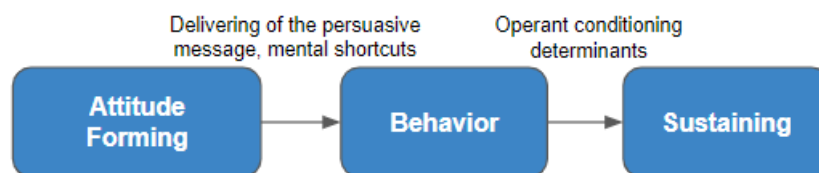
Figure 16. Representation of the Ambient Persuasion Model (Kaptein et al. 2010)



States, transitions, and determinants

The procedural nature of the model is explicit. The initial state of the process is represented by forming the attitude. The delivering of a persuasive message, combined with the mental shortcuts created at the precedent state, bring the user to perform the behaviour (second state). Ultimately the sustaining can be operated employing the determinant of classical reinforcement or operant conditioning.

Figure 17. Proposed automaton



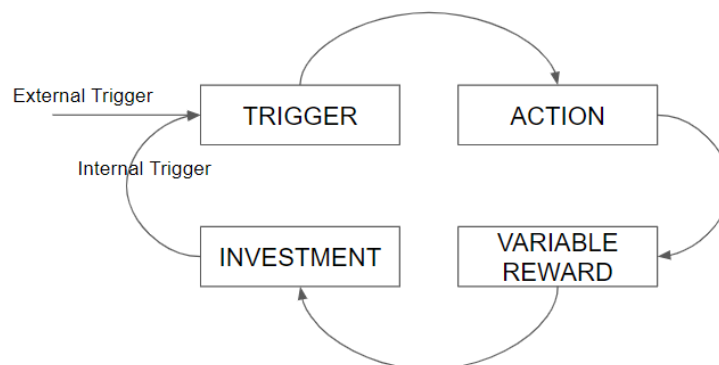
2.9 The hook model

Eyal (Eyal 2014) produced a set of guidelines to enhance technological products with habit forming. A general process brings the product from a stage in which it is called "vitamin" (there is no real need for it in the beginning) to a final stage in which the product is called "painkiller" (not using it causes pain). Social media such as Facebook, Instagram or time killer games for smartphone are examples relevant for this process (initially they are used occasionally, then in some cases they become addictive). Eyal theorizes a model made of four stages, the Hook model, in which there is a discrete process of change in the interaction with the user through the following stages: the trigger stage, the action, the reward, and the investment stage.

The trigger stage recalls the ideas of Fogg as an event that enacts the user (Fogg 2009). Two different types of triggers can be prompted to the user: the external ones (the system tells the user what to do) and the internal ones (the user knows what to do). Internal triggers are often produced by negative emotions. For example, to overcome a sense of loneliness, individuals may use products such as social networks to get in touch with other people.

The action stage follows the principles of the Fogg Behaviour Model (Fogg 2009): to produce the behaviour, a combination of sufficient motivation and ability, and the presence of a prompt are necessary.

Figure 18. The four stages of the Hook Model



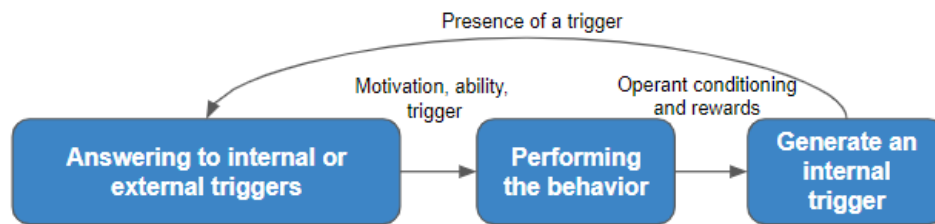
The reward phase is used to acknowledge the behaviour performed in the action stage. Eyal identifies three types of rewards: (1) the reward of the hunt (materialized in resources and goods as money, food, etc.), (2) the reward of the tribe (provided by another user through social-likes, comments, ratings, reviews) and (3) the reward of the self (represented by personal gratification for being consistent with one's own ideas, mastering an ability or for completing a particular task).

The last phase is the investment, where specified users perform a small action that will generate an internal trigger in the future to restart the process. For example, after reviewing a restaurant with a food-application (investment), the system may ask to review other restaurants (trigger) in order to stay in the loop of the application usage.

States, transitions, and determinants

The Hook model is explicitly based on four main stages, but from a behavioural point of view we can reduce it to three main ones. In the first state, the individual answers to a trigger (external or internal). In the second state, the individual performs the behaviour according to the mechanism described by B.J. Fogg (sufficient motivation and ability plus the presence of a trigger). Thanks to a reward that acts as determinant, the individual travels the last state where a new trigger is generated, permitting the reiteration of the process.

Figure 19. Proposed automaton



2.10 The Habit Alteration Model

The Habit Alteration Model (HAM) theorized by Charlie Pinder et al. (Pinder et al. 2018) synthesises the Dual Process Theory, modern habit theory, and Goal Setting Theory in a common model. The aim is to simplify these theories highlighting how the internal and external factors generate both habitual and non-habitual behaviours.

The model considers the two types of processes from the Dual Process Theory: type1 processes are fast, automatic, nonconscious, associative; and type 2 processes are slower, deliberative, conscious. Four components contribute to generate behaviours: (1) type1 processes, which are the ones that relate cues to behavioural impulses, (2) type2 processes generated by explicit intentions, (3) the cues of context, and (4) the individual differences (e.g. the impulsivity). The model is based on three phases: filter, prepare, and act as pictured in Figure 20. The dashed lines represent the processes that may run whilst the solid ones represent the continuously running processes.

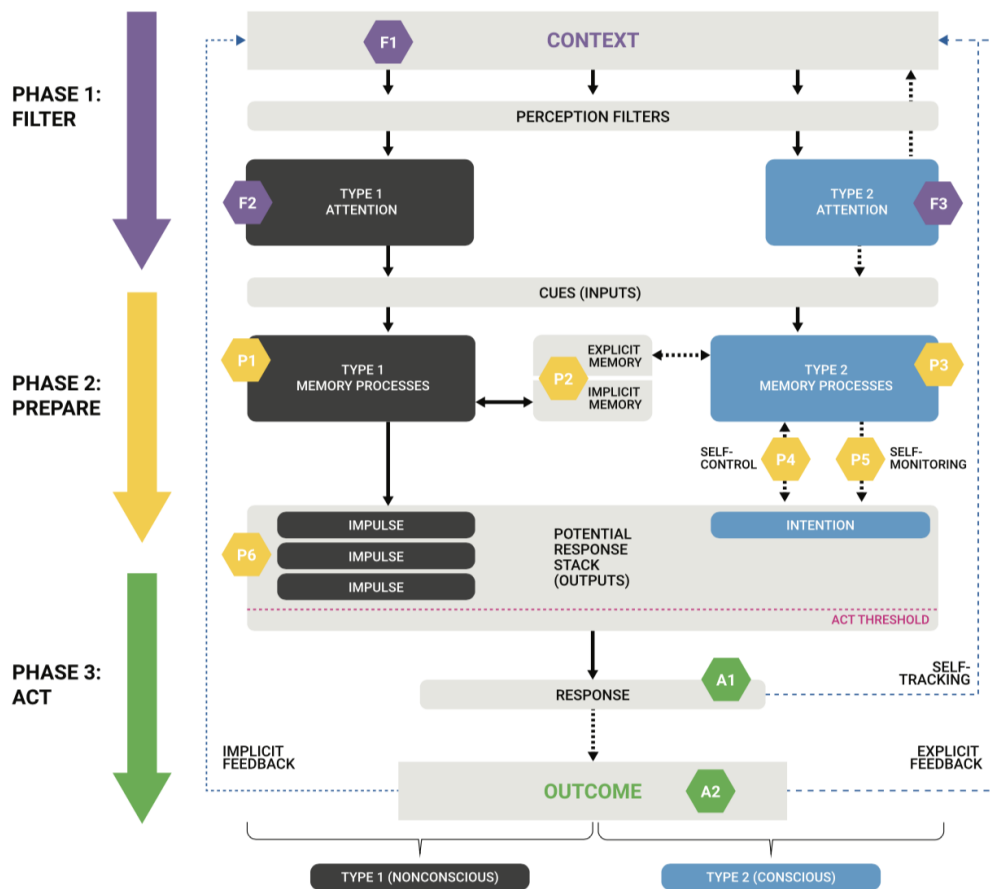
In the first phase (filter), the processes of type1 and type2 generate a set of cues that are the inputs for the second phase (prepare). For this phase “altering the context” (changing cue properties to affect the priority in the stack) and “priming” (enriching the context to enhance the perception of pushed messages to achieve the behaviour) are considered as effective strategies to pass to the second phase of the model.

In the prepare phase, type1 processes are memorized in the implicit memory and generate a stack of impulses; type2 processes are memorized in the explicit memory and generate a stack of intentions. Creating new alternatives to default actions, implementing if-then construct in context, suggesting behavioural directions (ex. notifications) and training the ability of the individual are examples of strategies that may bring to the third phase of the model.

Impulse and intentions compete each other. The ones crossing an act threshold will be delivered to the act phase.

During the last phase (act), the impulses and intentions generate a response and an outcome which constitute new inputs of type1 and type2 processes for the first phase. The response may be followed by a self-tracking practice while the outcomes lead to an implicit or explicit feedback to the user. Examples of strategies related to this phase are “self-monitoring” (providing the subjects of a self-image of their actual behaviour) and “reevaluating the outcome” (implementing/applying operant conditioning techniques).

Figure 20. Representation of the Habit Alteration Model (Pinder et al. 2018)

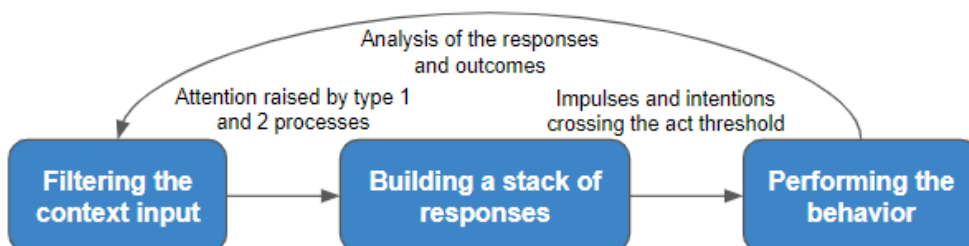


The repetitions of the three phases in stable context becomes more automatic, and may bring people to pass from type2 processes (slow and conscious) to type1 ones (faster and associative).

States, transitions, and determinants

HAM may be pictured using states, transitions and determinants even if these concepts are not explicitly defined in the model. However, this formulation has a cognitive/psychological connotation since the model is meant to explain and combine such types of theories. In a first state, the individual filters the context input. From this state, the attention raised by type1 and type2 processes brings to a second state where a stack of responses is created. At this state, the impulses and intentions crossing the action threshold permit to perform the behaviour, thereby reaching the third state. Finally the analysis of the responses and of the outcomes permit to have new information to filter the context, and thus to reiterate the process.

Figure 21. Proposed automaton



3 IMPLEMENTING PERSUASION

In the previous section, we have reviewed the state-of-the-art focusing on the elements that can be used to describe a process of change through the concepts of states, transitions, and determinants. This paradigm is a first draft toward a new approach to operationalize the persuasive models. In this section, we review a set of core elements supporting this operationalization, which can figure as possible requirements when designing or developing persuasive interactive systems.

3.1 Context is key

In the previous section, we have discussed how contextual information is determinant to operate the transition among the states of a process of change. We have also given a first formulation of the context proposed by A.K. Dey (Dey 2001). In the literature, several frameworks have been proposed to account context. Oinas-Kukkonen and Harjumaa (Oinass et al. 2008) (Oinass et al. 2018) for example operate a definition of context aiming at the implementation of interactive systems in the Persuasive System Design model, basing on the analysis of the events, intents and persuasive strategies. Coutaz et al. (Coutaz et al. 2005) describe the context definition for interactive systems on three layers of abstraction: a lower “sensing layer” (e.g. sensors), a “perception layer” (providing symbolic interpretations) in the middle and a higher one “situation and context identification layer” for moving between situations and contexts.

In order to give a concrete example on how the context can be integrated into the development of a persuasive system, we give an example by using the ProSPer framework (Fenicio et al. 2016a). This framework structures the changes to be achieved, and demands to associate the persuasive features to reach these changes by taking advantage of the context detection.

The framework is built up on the MOST model made of four layers: Mission, Objective, Strategy, Tactic (Cadle et al. 2014). The original MOST model has been reorganized into the ProSPer framework to fit the persuasive needs. ProSPer reorganizes the four MOST components into three principal layers: (1) the **Problem** Layer (where the behaviour is described independently by the application domain), (2) **Solution** Layer (where the objectives are set and the strategies identified) and (3) the **Persuasion** Layer (where the strategies, when tailored to the user profile, become tactics and implementable actions) (Fenicio et al. 2016b).

Figure 22. Representation of the ProSPer Framework (Fenicio et al. 2016b)

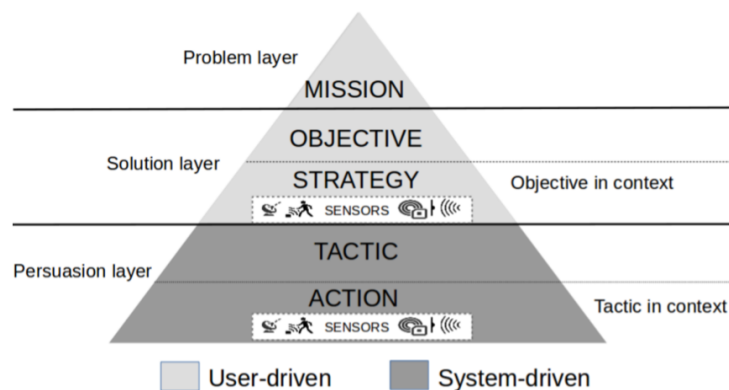


Figure 22 gives a global picture of the ProSPer framework, expliciting the reorganization of the initial layers MOST model for the persuasive needs. In the picture, the two white rectangles with the label “sensors” represent that at the strategy and action levels the context is first sensed (in the strategy layer) and then applied (in the action layer).

We provide a practical example to the reader to understand the functioning of the framework. Let’s take the case in which an individual wants to change behaviour in order “to be more rested during the day” (Mission). A generic objective to reach the mission could be to “sleep more”. Different strategies could be adopted: going to sleep earlier, wake up later, avoid drinking caffeine, etc. At the strategy level, the context detection is performed: for example, the accelerometer and the GPS sensor of the user’s smartphone can give clues on when the user went to sleep and wake up in the last 24 hours. From this information, a set of tactics is set to be driven to the user. These tactics translate into action by applying the detected contextual information, building for example a notification to go to sleep earlier for the next day. The operationalization of the model consists in associating the sensing information to the adequate technology means of the interactive system, and in implementing dedicated persuasive features to put in action the computed strategies in context.

3.2 Plasticity and adaptation

A persuasive interactive system has to be capable of supporting the different stages of the process of change. In order to do that, from a Human Computer Interaction point of view, it may be necessary to adapt the user interface in accordance with the process phases.

We propose an example of such adaptation, using the work of Consolvo’s UbiFit (Consolvo et al. 2008), and a persuasive system designed for mobile phones, that encourages individuals to perform different types of physical activities and workout. The application alters the smartphone background inserting flowers and butterflies related to different activities performed by the user. In Figure 23, authors propose some screenshots of the application functioning. Part (a) shows the background at the beginning of the week: small butterflies indicate recent goals attainment and the absence of flowers means no activity during the current week. In part (b), the background is changed, showing a garden with flowers. The different flowers represent the different activities performed, explained in part (c) of the image. Large butterfly indicates that the current week goal was met by the user.

Figure 23. UbiFit Garden's glanceable display (Consolvo et al. 2008)

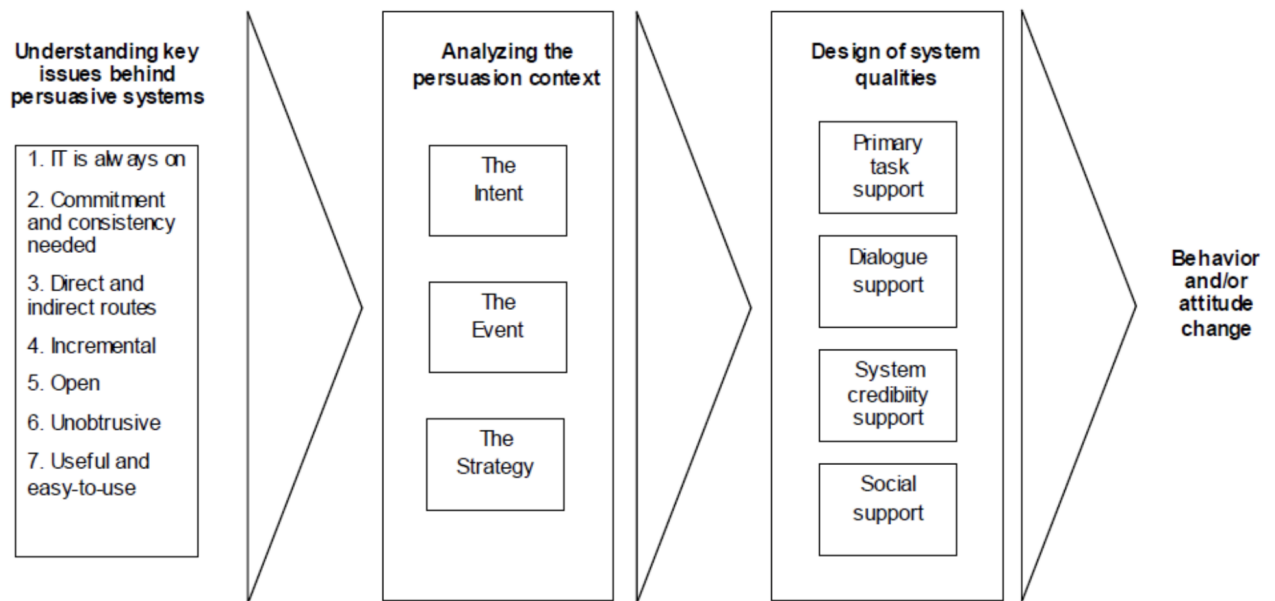


Similarly to Consolvo's work, Nakajima proposes different metaphors to display the behaviour of the user, employing techniques of image morphing to represent the progression or the regression in respect to the objective (Nakajima et al. 2011)(Nakajima et al. 2008). In the article "Characterizing User Roles in HCI Technologies for Nature Exploration" (Fenicio et al. 2017), we have investigated how to adapt interaction by suggesting different functionalities of the system to the users, according to their own process of change. In particular we have characterized four interactive roles and among which the user can switch in order to maintain active the engagement towards the change.

3.3 Driving the persuasive features

Oinas Kukkonen presented a set of guidelines to be used during the design of a persuasive system, formalising the Persuasive System Design approach (PSD) (Oinass et al. 2008), which is based on three designing moments. In a first time designers need to focus on the key issues of the persuasive systems, and in order to facilitate this step he proposes seven postulates to be addressed by designers. The second moment characterizes the analysis of the context: what is the intent of the system? What is the considered persuasive event? What is the strategy to be employed? In a third moment the designers are recommended to focus on the final qualities of the system, concretely evidencing the final persuasive features and how they should be driven to the user. Four categories are considered: primary task support (carrying out of the user's primary task), dialogue support (implementing computer-human dialogue support), system credibility (design a system so that it is more credible) and social support (design the system so that it motivates users by leveraging social influence). The diagram in Figure 24 summarizes the three moments of design proposed by Kukkonen in his PSD model.

Figure 24. Phases in Persuasive Systems Design (PSD) according to (Oinas et al. 2008)



4 COMPARED ANALYSIS USING THE “STATES, TRANSITIONS, DETERMINANTS” PARADIGM

In the precedent sections of this work, we have reported on the characterization of the process of change by using two approaches: the first, described different models of the state-of-the-art in persuasion and social psychology through the paradigm of states, transitions and determinants, the second approach evidencing what are the core factors that should not be neglected while approaching the concrete design and development of persuasive systems.

In this section we operate a synthesis of our work performing a comparative analysis of the models discussed in the work. The objective of this analysis is to facilitate the reader in finding differences and analogies between the approaches when considering a model to be operationalized in their persuasive system.

For each model/approach, the analysis reports a set of states, transitions and determinants in order to describe the temporality of the change and its evolution. For certain models such as the Transtheoretical Model of Behaviour change, the sequential evolution is explicit. On the contrary, for some theories, it is not possible to precisely highlight all the components of states, transitions and determinants. For example, in Cialdini's theory of influence, there is no explicit mention to any form of states or transitions. Nevertheless, these theories may describe contextual factors that trigger transitions toward the desired behaviour. For this reason, instead of excluding these theories, we have chosen to consider at least the information on the determinants that may cause transitions between states.

Table 1. Proposed mapping of models and theories using the “State, Determinants, Transition” (STD) paradigm

Model/Theory [main authors]	Proposed [STD]	Proposed mapping
Operant conditioning [Skinner] (McLeod 2009)	TD	Transitions: represented by the three-term-contingency. Determinants: environmental conditions or stimulus changes.
Influence [Cialdini] (Cialdini 1987)	D	Determinants: Reciprocity, Scarcity, Authority, Consistency, Liking, Consensus.
Elaboration Likelihood model [Cacioppo] (Petty et al. 1986)	STD	States: delivering of message, elaboration of message, impression on individual, attitude change. Transitions: central and peripheral route transitions. Determinants: ability, motivation, (positive and negative) shift, (positive and negative) impression.
Social cognitive theory [Bandura] (Bandura 2001)	D	Determinants: expected behavioural outcomes, environment and personal factors including self-efficacy. Three kinds of factors cognitive, environmental and behavioural impact the determinant of behaviour.
Theory of planned behaviour [Ajzen] (Ajzen 1991)	STD	States: evaluating stage, intention forming, behaviour performing. Transitions: multiple loops may be necessary to form the intention. Determinant: intention, perceived behavioural control and situational conditions.
Fogg Behaviour model [Fogg] (Fogg 2009)	STD	States: not performing the behaviour, performing intermediate behaviours, performing the final behaviour. Transition: aiming at increasing the levels of motivation and ability. Determinant: core motivations (for motivation), simplicity factors (for ability) and prompt (for action).
Motivation Opportunity Ability [Michie] (Michie et al. 2011)	STD	States: forming the intention, performing the behaviour. Transitions: consecutive among the states, with a loop to iterate the process. Determinants: social norm, attitude, opportunity, ability. New abilities determine the loop transition.
The Transtheoretical Model [Prochaska] (DiClemente et al. 1998)	STD	States: pre-contemplation, contemplation, preparation, action, and maintenance. Transitions: consecutive among the states, undefined iteration for each state, and possibility of relapse to a precedent state. Determinants: the ten processes of change combined with the self-efficacy and decisional balance.
Ambient Persuasion Model [Kaptein] (Kaptein et al. 2010)	STD	States: attitude forming, behaviour change, sustaining the change. Transition: gradually represents the process from the attitude forming to the maintenance. Determinants: delivering of persuasive message, mental shortcuts, and operant conditioning.
The hook model [Eyal] (Eyal 2014)	STD	States: answering to an internal/external trigger, performing behaviour, generate a new trigger Transitions: consecutive transitions based on an iterative process. Determinants: cognitive theory determinants, Fogg's behaviour model determinants, operant conditioning determinants.

<p>The Habit Alteration Model [Pinder] (Pinder et al. 2018)</p>	<p>STD</p>	<p>States: the filtering the context input, building a stack of responses, performing the behaviour. Transitions: consecutive and depending on the Type1 or Type2 process. Iterative transitions are present to restart the process. Determinants: Type1 and Type2 attention, implicit and explicit memory, impulses and intentions. Iteration done with self-tracking and explicit feedback.</p>
---	------------	--

In table 1, we have operated a synthesis of the models and approaches reviewed in this work evidencing the concepts of state, transitions and determinant. The column SDT summarizes where an analysis using the three components S (State), T (Transition) and (D) Determinant can be partially or completely operated. The next column proposes a mapping of the three components showing an example of how the set of states, transitions and determinants may be defined.

5 DISCUSSION AND LIMITATIONS

The synthesis operated in this work leads to different considerations in the application of the “state, determinant, transitions” paradigm.

5.1 Discussion

A first consideration is related to the presence of iterative transitions in the processes. Several theories involve a transition that refines, through repetition, the achieved result: tiny steps approach in Fogg’s behavioural model (Fogg 2009), feedback and self-tracking in the HAM model (Pinder et al. 2018), investment in the Hook model (Eyal 2014). We notice that the iterative process is often triggered using the determinants of the operant conditioning, where the expectation of a new reward brings the subject to commit to another cycle of the process. The MOA model (Maclnnis et al. 1991) instead triggers the iteration by the discovery of new abilities that generate new motivations to the users.

From an operational point of view, this consideration suggests the possibility to link different classes of persuasive features to specific types of transitions in the process of change. For instance, the iterative loops in a process may be linked to the persuasive features of the Dialogue Support category of the PSD model (Oinass et al. 2008) where the technique of reward is implemented. Other links may be operated. For example, initial transitions in the process may be linked to persuasive features oriented to increase the confidence in the system, through features implementing trustworthiness, authority and verifiability, as described in the credibility support category of the PSD model (Oinass et al. 2008).

A second consideration is about the evolving nature of the process. We have depicted the process through states and transitions caused by determinants. These three components are not static. They may evolve during the process of change. For example, several theories mention the creation of an intention (MOA model Likelihood model, Theory of planned behaviour) or of an impulse (HAM model). These new factors become new determinants for the successive transitions in the process. In addition, for several models, it is not possible to predict the set of states that will be travelled across during the process of change. The path for change needs to be estimated dynamically during the process.

5.2 Limitations

We have reviewed the state-of-the-art in persuasion by applying the paradigm of states, transitions and determinants defined in the first section. Successively we have reviewed some key issues that need to be addressed when approaching the design and the development of persuasive interactive systems. Finally, we have summarised the proposed mapping of each work into a comparative table to be used as support for designers of persuasive systems.

The mapping operated in this article has considered a set of works from the state-of-the-art in persuasion, social theories, and psychology. However, this set can be extended with additional models to answer some specific design and implementation needs. In addition, the proposed mappings are not intended to be unique: other possible formulations can be operated provided that they respect our definition of states, transitions, and determinants.

We noticed that it is not always possible to find a complete mapping to the three concepts of states, transitions and determinants. This mostly applies to social cognitive theories, to behaviourist theories and to the influence principles where in most of the cases it is possible to characterize just the determinant that may persuade the individual to progress along the change, rather than a precise set of states to be travelled.

6 REFERENCES

- ▶ Fogg, Brian J. "A behaviour model for persuasive design." Proceedings of the 4th international Conference on Persuasive Technology. ACM, 2009.
- ▶ Pinder, C., Vermeulen, J., Cowan, B. R., & Beale, R. (2018). Digital behaviour change interventions to break and form habits. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 25(3), 15..
- ▶ Oinas-Kukkonen, H. (2010, June). Behavior change support systems: A research model and agenda. In *International Conference on persuasive technology* (pp. 4-14). Springer, Berlin, Heidelberg.
- ▶ West, Robert, and Jamie Brown. Theory of addiction. John Wiley & Sons, 2013.
- ▶ McLeod, S. A. (2007). Bf skinner: Operant conditioning. Retrieved September, 9, 2009.
- ▶ Staddon, John ER, and Daniel T. Cerutti. "Operant conditioning." *Annual review of psychology* 54.1 (2003): 115-144.
- ▶ Bijou, S. W. (1957). Patterns of reinforcement and resistance to extinction in young children. *Child Development*, 47-54.
- ▶ Eyal, Nir. Hooked: How to build habit-forming products. Penguin, 2014.
- ▶ Fogg, B. J. (1998, January). Persuasive computers: perspectives and research directions. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 225-232). ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- ▶ Cialdini, Robert B. Influence. Vol. 3. Port Harcourt: A. Michel, 1987.
- ▶ Milgram, S., & van Gasteren, L. (1974). *Das Milgram-Experiment.*) Rowohlt.
- ▶ James, William. The principles of psychology. Read Books Ltd, 2013.
- ▶ Petty, R. E., & Cacioppo, J. T. (1986). The elaboration likelihood model of persuasion. In *Communication and persuasion* (pp. 1-24). Springer, New York, NY.
- ▶ Dey, Anind K. "Understanding and using context." *Personal and ubiquitous computing* 5.1 (2001): 4-7.
- ▶ Bandura, A. (2001). Social cognitive theory: An agentic perspective. *Annual review of psychology*, 52(1), 1-26.
- ▶ Fenicio, A., & Calvary, G. (2015, November). Persuasion Through an Ambient Device: Proof of Concept and Early Evaluation of CRegrette, a Smoking Cessation System. In *European Conference on Ambient Intelligence* (pp. 252-267). Springer, Cham.

- ▶ Hamari, J., Koivisto, J., & Pakkanen, T. (2014, May). Do persuasive technologies persuade?-a review of empirical studies. In *International conference on persuasive technology* (pp. 118-136). Springer, Cham.
- ▶ Hughes, J. (2007, January). The ability-motivation-opportunity framework for behavior research in IS. In *2007 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07)* (pp. 250a-250a). IEEE.
- ▶ MacInnis, D. J., Moorman, C., & Jaworski, B. J. (1991). Enhancing and measuring consumers' motivation, opportunity, and ability to process brand information from ads. *Journal of marketing*, 55(4), 32-53.
- ▶ Michie, S., Van Stralen, M. M., & West, R. (2011). The behaviour change wheel: a new method for characterising and designing behaviour change interventions. *Implementation science*, 6(1), 42.
- ▶ DiClemente, C. C., & Prochaska, J. O. (1998). Toward a comprehensive, transtheoretical model of change: Stages of change and addictive behaviors.
- ▶ He, H. A., Greenberg, S., & Huang, E. M. (2010, April). One size does not fit all: applying the transtheoretical model to energy feedback technology design. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 927-936). ACM.
- ▶ Kaptein, M. C., Markopoulos, P., De Ruyter, B., & Aarts, E. (2010). Persuasion in ambient intelligence. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1(1), 43-56.
- ▶ Fenicio, A., Calvary, G., Laurillau, Y., & Vanderdonckt, J. (2016, July). ProSPer: a MOST model extension applied to persuasive interactive systems. In *Proceedings of the 30th International BCS Human Computer Interaction Conference: Companion Volume* (p. 39). BCS Learning & Development Ltd..
- ▶ Fenicio, A., Calvary, G., Laurillau, Y., & Vanderdonckt, J. (2016, October). ProSPer: modeling the change, driving the persuasion. In *Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine* (pp. 59-69). ACM.
- ▶ Consolvo, S., McDonald, D. W., Toscos, T., Chen, M. Y., Froehlich, J., Harrison, B., ... & Smith, I. (2008, April). Activity sensing in the wild: a field trial of ubifit garden. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1797-1806). ACM.
- ▶ Nakajima, T., & Lehdonvirta, V. (2013). Designing motivation using persuasive ambient mirrors. *Personal and ubiquitous computing*, 17(1), 107-126.
- ▶ Nakajima, T., Kimura, H., Yamabe, T., Lehdonvirta, V., Takayama, C., Shiraishi, M., & Washio, Y. (2008, October). Using aesthetic and empathetic expressions to motivate desirable lifestyle. In *European Conference on Smart Sensing and Context* (pp. 220-234). Springer, Berlin, Heidelberg.
- ▶ Fenicio, A., Calvary, G., Laurillau, Y. (2017)- Characterizing User Roles in HCI Technologies for Nature Exploration In The 2nd workshop on NatureCHI - Unobtrusive User Experiences with Technology in Nature (MobileHCI '17).
- ▶ Oinas-Kukkonen, H., & Harjumaa, M. (2008, June). A systematic framework for designing and evaluating persuasive systems. In *International conference on persuasive technology* (pp. 164-176). Springer, Berlin, Heidelberg.
- ▶ Oinas-Kukkonen, H., & Harjumaa, M. (2009). Persuasive systems design: Key issues, process model, and system features. *Communications of the Association for Information Systems*, 24(1), 28.
- ▶ Fenicio, A., Laurillau, Y., & Calvary, G. (2017, November). Persuasive Events and User's Roles in Mobile-Based Interactive Solutions for Nature Discovery. In *Proceedings of the 14th EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services* (pp. 511-519). ACM.
- ▶ Thøgersen, J. (1995). Understanding of consumer behaviour as a prerequisite for environmental protection. *Journal of consumer policy*, 18(4), 345-385.
- ▶ Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211.

- ▶ Coutaz, J., & Crowley, J. L. (2005). CONTEXT is KEY. *Communications of the ACM*, 48(3), 49.
- ▶ Cadle, J., Paul, D., & Turner, P. (2014). *Business analysis techniques*. Chartered Institute for IT.
- ▶ Kaptein, M. C. (2012). Personalized persuasion in ambient intelligence.

7 BIOGRAPHIE



Alessandro FENICIO

is a 3rd year Ph.D. student at the University Grenoble Alpes. His investigation concerns persuasive technologies and human computer interaction. Alessandro has presented his works in several international conferences, workshops and seminars, producing different publications. His background in software engineering permitted him to effectively apply his investigation to the research and development departments of private enterprises.



Yann LAURILLAU

est Maître de Conférences HDR en Informatique à l'Université Grenoble Alpes. Ses travaux portent sur l'interaction homme-machine symbiotique appliquée plus spécifiquement aux systèmes multi-utilisateurs, multi-surfaces, incluant l'interaction gestuelle tangible. Son approche porte sur les outils de conception de tels systèmes, autant sur le plan conceptuel que technique. Depuis quelques années, ses recherches portent également sur les systèmes persuasifs.



Gaëlle CALVARY

est professeure en Informatique à Grenoble INP. Ses travaux portent sur la plasticité des Interfaces Homme-Machine (IHM). Son but est de fournir des méthodes, modèles et outils pour soutenir le développement d'IHM plastiques. L'approche qu'elle a le plus explorée est l'Ingénierie Dirigée par les Modèles. Elle défend l'unification des phases de conception, d'exécution et d'évaluation autour de modèles et de transformations de modèles. Elle explore aujourd'hui la plasticité comme levier de persuasion technologique.

L'adaptation pour une persuasion durable

Anthony Foulonneau, Gaëlle Calvary, Eric Villain

► **To cite this version:**

Anthony Foulonneau, Gaëlle Calvary, Eric Villain. L'adaptation pour une persuasion durable. Journal d'Interaction Personne-Système, Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM), 2020, Volume 9, Special Issue: PISTIL 2 (1), pp.83-103. hal-02428822v2

HAL Id: hal-02428822

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02428822v2>

Submitted on 20 Jan 2021

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.



Le contexte persuasif

Anthony FOULONNEAU

Orange Labs
4 rue du Clos Courtel, BP 91226,
35512 Cesson-Sévigné, France
anthony.foulonneau@orange.com

Gaëlle CALVARY

Univ. Grenoble Alpes, CNRS,
Grenoble INP, LIG
F-38000 Grenoble, France
Gaelle.Calvary@imag.fr

Eric VILLAIN

Orange Labs
4 rue du Clos Courtel, BP 91226,
35512 Cesson-Sévigné, France
eric.villain@orange.com

Persuasive Context

Abstract. The background of persuasive technologies is the traditional interpersonal persuasion, studied for over two thousand years in rethoric, philosophy, and more recently in psychology. This last discipline offers many theories and models to understand more precisely the processes that influence human behaviors. These theories show in particular that persuasive situations are complex, varied, with many influence factors. Therefore, we propose the notion of adaptive persuasive technologies, i.e. technologies able to adapt their persuasive strategies to the user context. To design such products and services, we propose a model of the persuasive context, i.e. of all the constraints that influence a user's targeted behavior at a given time. Each constraint in the persuasive context is at the same time an adaptation criterion and an action leverage for the adaptive persuasive technology.

Keywords: persuasion, adaptation, interactive context, persuasive context.

Résumé. Les technologies persuasives ont pour fondement la persuasion interpersonnelle, étudiée depuis plus de deux millénaires dans le champ de la rhétorique, de la philosophie, et plus récemment de la psychologie. Cette dernière discipline propose des théories et des modèles pour rendre compte et comprendre les processus à l'œuvre dans le choix d'un comportement. Ces théories montrent en particulier que les situations persuasives sont complexes, variées, avec de nombreux facteurs d'influence. C'est pourquoi nous proposons la notion de technologies persuasives adaptatives, des technologies capables d'adapter leurs stratégies de persuasion à l'utilisateur dans son contexte. Pour mettre en œuvre ces dispositifs, nous proposons une modélisation du contexte persuasif, c'est-à-dire de l'ensemble des contraintes qui influencent l'adoption d'un comportement cible par un individu à un instant donné. Chacune de ces contraintes est à la fois un critère d'adaptation et un levier d'action dans la quête persuasive de la technologie.

Mots-clés : persuasion, adaptation, contexte interactif, contexte persuasif.

Édité par Pr. J.M.C. Bastien (Université de Lorraine) & Pr. G. Calvary (Université Grenoble Alpes)

1 INTRODUCTION

L'adaptation en informatique est peut être aussi vieille que l'informatique elle-même. Dans son article posant les bases de l'informatique moderne en 1936, Turing décrit une « machine de calcul universel » dont la principale propriété est d'être programmable (Turing, 1937). Avant cela, les machines avaient des programmes fixes, qui obligeaient à revoir totalement leur structure physique pour le traitement d'une tâche différente. Turing propose le principe de programmes stockés en mémoire pouvant être modifiés pour traiter des problématiques différentes, sans affecter la machine elle-même. C'est la première capacité d'adaptation des ordinateurs, l'adaptation à la tâche à traiter. Par la suite, l'adaptation s'est trouvée au cœur de nombreux travaux, allant de l'informatique distribuée (adaptation aux ressources, à la topologie) à l'intelligence artificielle (l'apprentissage est une forme d'adaptation).

Dans le domaine des interactions homme-machine, c'est d'abord l'autonomie du système qui a été poursuivie. Avec la multiplication des dispositifs d'interaction, les systèmes ont cherché à s'y adapter au mieux pour permettre leur exécution sur une grande variété de plateformes, et pour simplifier le travail des développeurs d'applications. Les besoins d'adaptation dans ce domaine ne se limitent cependant pas à l'adaptation aux caractéristiques d'interaction de la plateforme d'exécution. Déjà, parce que, dans la quête d'une machine plus autonome, de nombreux autres critères sont à prendre en compte à commencer par l'espace technologique (c'est-à-dire les outils et plateformes d'un même écosystème, par exemple Microsoft avec notamment Windows). Mais surtout parce que la principale motivation à l'adaptation des interactions des systèmes informatiques est leur capacité à répondre aux besoins de l'utilisateur, à l'assister dans sa tâche. Or ce besoin est influencé par de nombreux facteurs, dont bien sûr l'utilisateur lui-même.

L'étude de l'ensemble de ces problématiques dans le champ des interactions homme-machine porte le nom de plasticité des interfaces homme-machine. Elle est définie comme « la capacité d'une IHM à s'adapter au contexte d'usage dans le respect de son utilisabilité » (Thevenin & Coutaz, 1999). La notion de contexte y est centrale. Elle représente l'ensemble des critères auxquels le système est susceptible de s'adapter. C'est cette notion que nous choisissons d'étudier ici, dans le cas particulier des systèmes persuasifs.

2 LE CONTEXTE

La notion de contexte est étudiée dans de nombreuses disciplines, telles que la psychologie, la philosophie, la sociologie, la médecine, et bien sûr l'informatique (Brézillon & Gonzalez, 2014). Par exemple, le contexte joue un rôle primordial dans les processus cognitifs d'apprentissage, de mémorisation ou encore dans le langage (Brézillon & Gonzalez, 2014). Les neurosciences mettent en avant l'importance du contexte dans les fonctions d'optimisation et de modelage des structures du cerveau, servant de modèle aux travaux d'intelligence artificielle (Brézillon & Gonzalez, 2014).

Au sein même de l'informatique, le contexte est utilisé dans de nombreux champs d'application. On peut ainsi citer les interactions homme-machine, le travail coopératif assisté par ordinateur, l'informatique ubiquitaire, les systèmes mobiles, les systèmes distribués, ... (Brézillon & Gonzalez, 2014). Il sert ainsi à « la gestion de données (*context awareness*), la gestion d'informations (*context sensitivity*), la gestion de connaissances (*contextual knowledge*), la représentation tactique de comportements d'agents (*context driven*), le raisonnement (*context-based*), le support à la décision, l'apprentissage, la gestion du dialogue d'humain virtuel » (Brézillon & Gonzalez, 2014).

2.1 Définitions

Cette multitude de domaines et de champs d'application fait du contexte une notion difficile à appréhender. Il n'existe d'ailleurs pas de consensus quant à sa définition. Bazire et

Brézillon (2005) ont analysé pas moins de 150 définitions différentes pour en extraire les caractéristiques les plus communément admises. Ils en déduisent la définition « moyenne » suivante : « Le contexte agit comme un ensemble de contraintes qui influence le comportement d'un système (un utilisateur ou un système informatique) engagé dans une tâche » (Bazire & Brézillon, 2005). Mais ils admettent qu'une bonne définition du contexte dépendra avant tout du champ de connaissance auquel il appartient.

En informatique, on retrouve la même problématique autour d'une définition qui fait consensus pour l'ensemble des champs d'application. Camara identifie deux types de définitions du contexte dans l'état l'art : les définitions formelles et les définitions qui caractérisent le contexte par les dimensions qui le composent (Camara, 2012). Par exemple, Chen et Kotz définissent formellement le contexte comme « l'ensemble des états et caractéristiques de l'environnement qui, soit détermine le comportement de l'application, soit est le lieu d'un évènement applicatif pertinent pour l'utilisateur » (Chen & Kotz, 2000). Toujours par une définition formelle, Coutaz et al. mettent en avant la dynamique du contexte et son intrication avec l'interaction : « le contexte fait partie du processus d'interaction avec un environnement en perpétuelle évolution, composé de ressources reconfigurables, migrables, distribuées et multi-échelles » (Coutaz, Crowley, Dobson, & Garlan, 2005). Calvary (2003) propose de définir le contexte à partir des trois classes d'entités qui le composent : les utilisateurs, la plateforme hardware et software, et l'environnement physique et social dans lequel a lieu l'interaction. Enfin, la définition la plus souvent citée dans la littérature informatique est celle de Dey, qui bien que formelle, détaille une partie des dimensions composant le contexte : « le contexte couvre toutes les informations pouvant être utilisées pour caractériser la situation d'une entité. Une entité est une personne, un lieu, ou un objet qui peut être pertinent pour l'interaction entre l'utilisateur et l'application, y compris l'utilisateur et l'application » (A. K. Dey, 2001).

2.2 Les systèmes *context-aware*

Les systèmes *context-aware*, ou sensibles au contexte, sont définis par Dey comme des systèmes qui « utilisent le contexte pour fournir des informations et/ou des services pertinents, où la pertinence dépend de la tâche de l'utilisateur » (A. K. Dey, 2001). Ces systèmes utilisent donc le contexte comme source d'information, mais surtout comme critère pour sélectionner les informations et les services les plus utiles à l'utilisateur dans l'exécution de sa tâche. Ils s'adaptent au contexte pour mieux servir l'utilisateur.

Si l'appréhension de la notion de contexte est complexe, sa prise en compte concrète dans les systèmes informatiques n'est pas non plus une entreprise aisée. Pour commencer, les systèmes *context-aware* nécessitent la présence d'un ensemble de capteurs à même de percevoir et de saisir toute l'hétérogénéité du contexte. Mais la présence de ces données capturées n'est pas suffisante. Pour pouvoir les intégrer aux décisions prises par le système sensible au contexte, il est souvent nécessaire de les filtrer, de les analyser, de les confronter, pour obtenir une connaissance pertinente du contexte de l'application. « La sensibilité au contexte ne se limite pas à la capture d'informations. La sensibilité au contexte implique la capacité à donner du sens aux données récoltées » (Drogehorn et al., 2005). Drogehorn différencie ainsi les informations de contexte de haut niveau, des informations de contexte de bas niveau ou atomiques, issues des capteurs. Les informations de contexte de haut niveau sont l'abstraction d'un état complexe d'une situation. Elles sont issues le plus souvent d'une agrégation et d'une analyse d'informations atomiques. Implicite par nature, elles ont un pouvoir sémantique plus important, en se focalisant sur les aspects essentiels d'une entité (Drogehorn et al., 2005).

Ces dernières années ont été marquées par des progrès importants dans la captation et l'analyse du contexte, grâce aux avancées respectives de la miniaturisation des capteurs et du *machine learning* (Hsieh, Munson, Kaptein, Oinas-Kukkonen, & Nov, 2014). On a vu par exemple l'émergence de voitures autonomes (Guizzo, 2011), capables de percevoir l'environnement routier dans toute sa dynamique, d'analyser les situations, et ainsi de

rejoindre une destination en respectant le code de la route sans assistance d'un opérateur humain. Avec ce type d'exemple, on voit que la prise en compte du contexte dans les systèmes informatiques est avant tout l'interaction d'un « monde virtuel » avec le « monde réel ». Si ces interactions ont longtemps reposé sur le paradigme « le virtuel propose, le réel dispose » (c'est-à-dire une IHM composée d'informations et d'interacteurs), avec un réel limité à l'utilisateur du système, désormais le virtuel observe, mesure, surveille, interpelle, et même ... persuade. De plus, la multiplication des capteurs permet d'élargir la part du réel en interaction avec le virtuel. Dans le cas des voitures autonomes, c'est tout l'environnement physique de la voiture qui est pris en compte par le système (routes, bas-côtés, autres véhicules, panneaux de signalisation, ...), alors que les utilisateurs sont en retrait, cantonnés au rôle de simples passagers.

2.3 Le contexte interactif

C'est justement le rôle qu'occupe l'utilisateur dans l'exemple des voitures autonomes qui met en évidence la véritable difficulté de la prise en compte du contexte dans les systèmes informatiques : l'interaction avec l'utilisateur. En effet, s'il est souvent possible de capturer et d'analyser le contexte « physique », il est en revanche beaucoup plus compliqué de mesurer et de déduire les états internes d'un individu comme ses intentions, ses connaissances, ses aptitudes, ses motivations, son humeur ... De plus, nombre de ces éléments peuvent évoluer rapidement au cours du processus d'interaction, comme le montre Coutaz (2005). C'est par ses interactions avec le système et l'environnement que l'on peut déduire les états internes de l'individu. Pour Papadopoulos, « le contexte est souvent compris comme étant interne par nature et capturé par les interactions de l'utilisateur, ou externe et mesuré par des capteurs » (Brézillon & Gonzalez, 2014). Pour les systèmes interactifs sensibles au contexte, la connaissance des états internes de l'utilisateur peut donc être nécessaire, notamment de par la finalité globale de tels systèmes, à savoir leur utilité et leur utilisabilité. En effet, l'utilité d'un système interactif se jugera notamment à l'aune des intentions et des désirs de l'utilisateur. Quant à son utilisabilité, ce sont les aptitudes et les connaissances de l'utilisateur qui seront prépondérantes.

Figure 1 : La subjectivité du contexte (Coutaz et al. 2005)



La finalité des systèmes interactifs a une seconde conséquence sur l'interprétation du contexte par le système, qui affecte notamment ses dimensions « physique » et « sociale ». C'est la subjectivité du contexte, c'est-à-dire la manière dont l'utilisateur interprète personnellement ce contexte. Si le système contextuel veut optimiser son utilité et son utilisabilité pour l'utilisateur, il ne doit pas prendre en compte le contexte tel qu'il le perçoit, mais le contexte tel qu'il est perçu par l'utilisateur. Pour l'utilisabilité, il doit notamment

prendre en compte la manière dont l'utilisateur se représente les interactions avec le système, son modèle mental de l'interaction. Coutaz et al. illustrent cela dans (Coutaz et al., 2005). Ils mettent en scène Bob et Jane, à une table d'un café, en pleine discussion sur leur prochain lieu de rendez-vous (cf. Figure 1). Ils utilisent les éléments à leur disposition sur la table - cuillères, pierres de sucre, tasses et verres - pour représenter la configuration de la ville. Une cuillère devient ainsi la rue Michel-Ange, les pierres de sucre les bâtiments bordant cette rue, etc ... Pour un système contextuel ne tenant pas compte de la subjectivité de la scène, la cuillère restera une cuillère et la pierre de sucre une pierre de sucre. Il ne pourra pas alors proposer son aide pour modéliser le plan de la ville ou suggérer un itinéraire pour se rendre dans ce lieu par exemple. C'est par le langage, verbal et non verbal, que Jane et Bob arrivent à partager cette subjectivité entre eux. Cependant, la subjectivité du contexte n'est pas propre aux conversations. Une araignée peut être perçue comme un danger imminent par un individu, alors que pour un autre, elle ne sera qu'un être anodin. La subjectivité porte avant tout sur l'importance que prend une entité à un instant donné (ici l'araignée). Pour totalement appréhender le contexte de l'utilisateur, le système doit donc :

- Être capable d'analyser les interactions de l'utilisateur avec son environnement physique et social qui renseignent sur sa vision subjective du contexte (par exemple, les conversations),
- Savoir mémoriser les subjectivités pérennes (comme la peur des araignées) et oublier les subjectivités ponctuelles (telle la rue Michel-Ange représentée par la cuillère),
- Permettre à l'utilisateur de communiquer la part de subjectivité que le système n'aura pas été capable de déduire de ses interactions, cependant sans rendre ces communications trop nombreuses et contraignantes.

Ce n'est décidément pas une entreprise aisée.

3 LE BESOIN D'ADAPTATION DES SYSTEMES PERSUASIFS

Les technologies persuasives sont des technologies conçues dans le but de faire adopter un comportement particulier à leurs utilisateurs, sans utilisation de la coercition, ni de la tromperie.

L'intérêt de l'adaptation pour les technologies persuasives a déjà été mis en avant par certains. Par exemple, pour Harjumaa et Oinas-Kukkonen, « la conceptualisation de la manière d'implémenter les principes persuasifs est une tâche difficile, car des environnements différents offrent des possibilités différentes mais aussi des limitations différentes en terme de persuasion » (Harjumaa & Oinas-Kukkonen, 2007). Kaptein (2012) montre lui dans ses travaux que les individus présentent une sensibilité distincte à chacun des six principes d'influence sociale de Cialdini (1993), et que ces sensibilités évoluent d'un individu à l'autre. Il montre en particulier que l'utilisation d'un principe d'influence sociale auquel l'utilisateur n'est pas sensible ne permet pas d'influencer, mais surtout, risque de provoquer l'effet inverse en créant une réaction de rejet de la part de l'utilisateur de la technologie persuasive.

Au-delà de l'état de l'art, plusieurs raisons soutiennent l'intérêt de l'étude de l'adaptation dans le cadre des systèmes persuasifs.

3.1 L'adaptation pour une persuasion plus éthique

La préoccupation éthique est une préoccupation importante dans l'étude des technologies persuasives, ce qui est compréhensible lorsque l'on souhaite modifier le comportement des gens, et a fortiori lorsque l'on souhaite automatiser ce processus. Comme le souligne la définition donnée ci-dessus des technologies persuasives, les deux principaux écueils à éviter dans ce domaine sont la coercition et la tromperie. Smids (2012) a étudié en

particulier la distinction entre persuasion, coercition et tromperie. Il montre que les frontières entre ces trois notions sont parfois difficiles à établir. Il indique notamment que la distinction entre coercition et persuasion dépendra de la sensibilité à l'exercice d'une force, le seuil d'acceptation d'un désagrément, et la perception d'une conséquence implicite de l'utilisateur dans une situation donnée. Ces trois critères sont cependant variables d'une personne à une autre, et pour une même personne, ils peuvent évoluer en fonction de la situation (humeur, fatigue, ...). Un système persuasif a donc intérêt à adapter sa stratégie persuasive pour ne jamais basculer du côté coercitif.

3.2 L'adaptation pour une persuasion plus utile

Les technologies persuasives ne sont pas, dans la plupart des cas, imposées à leurs utilisateurs. C'est eux qui les choisissent car ils y trouvent un intérêt, une utilité. Il est donc primordial pour un tel système de répondre aux besoins de l'utilisateur et de viser sa satisfaction, afin de s'assurer d'être acquis et utilisé. En cela, les systèmes persuasifs rejoignent la préoccupation de tout système interactif, et comme eux, bénéficient de l'adaptation pour mieux répondre à l'attente de l'utilisateur et ainsi lui être plus utile.

3.3 L'adaptation pour une persuasion plus efficace

En psychologie, il existe plusieurs théories et modèles qui donnent à comprendre les raisons pour lesquelles les individus adoptent un comportement. (Foulonneau, Calvary, & Villain, 2015) en liste un certain nombre. Par exemple, avec la théorie du comportement planifié (Ajzen, 1985), l'adoption d'un comportement n'est pas le simple fait de l'attitude de l'individu vis-à-vis de ce comportement. Les normes sociales, les ressources, les habiletés, et les opportunités ont aussi un rôle déterminant dans le choix du comportement. Autre exemple, la théorie socio-cognitive (Bandura, 1986) souligne le rôle de la motivation, du sentiment d'auto-efficacité, des objectifs que se fixe l'individu, mais aussi de l'auto-évaluation du comportement.

Les raisons qui justifient la non-adoption d'un comportement peuvent donc être variées. Par exemple, tout le monde ne pratique pas l'équitation, mais, parmi ces personnes, les raisons avancées pour justifier cette absence peuvent varier. Si certains n'ont aucune affinité avec cette activité, d'autres n'ont pas les ressources financières et matérielles pour le faire, ou craignent le regard de leurs proches. Ces justifications peuvent de plus se cumuler. Pour les persuader de pratiquer ce sport, les arguments et les méthodes à employer doivent varier en fonction des situations pour agir sur le ou les « verrous » à l'adoption du comportement. Il est nécessaire d'adapter la stratégie persuasive.

4 LE CONTEXTE PERSUASIF

Dans ce chapitre, nous étudions la notion de contexte dans le cadre des systèmes persuasifs, notamment ce qui le distingue du contexte interactif, pour mieux le définir et l'appréhender.

4.1 État de l'art

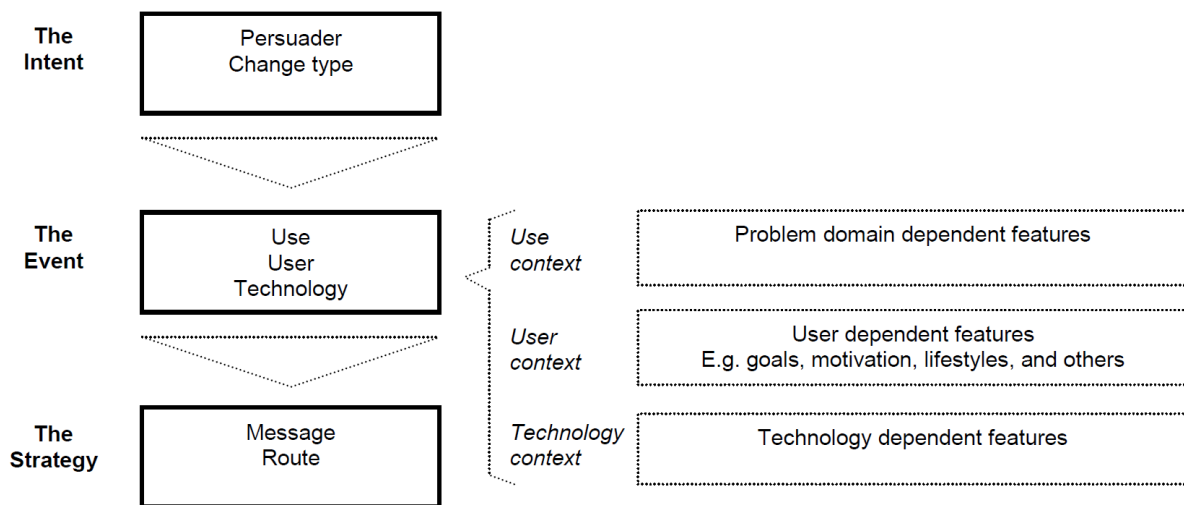
Peu de travaux en persuasion technologique ont porté sur le contexte persuasif dans sa globalité, et sa prise en compte dans les systèmes. Oinas-Kukkonen propose cependant une caractérisation du contexte persuasif dans sa méthode de conception PSD (Oinas-Kukkonen & Harjumaa, 2009). Après une première étape dédiée à la compréhension du système à concevoir à travers 7 postulats, et avant une troisième étape qui reprend les principaux principes de persuasion technologique issus de la littérature, le *Persuasive System Design* propose une analyse du contexte de persuasion en trois phases :

- L'analyse de l'intention persuasive par :

- l'identification du porteur de l'intention de persuasion (i.e. la personne souhaitant persuader l'utilisateur) qui peut être le concepteur (persuasion endogène), le distributeur (persuasion exogène) ou l'utilisateur lui-même (persuasion autogène),
- l'analyse du type de changement souhaité : attitude et/ou comportement, ponctuel ou permanent.
- L'analyse de l'événement persuasif qui caractérise la situation de persuasion, c'est-à-dire :
 - le contexte d'usage et les caractéristiques propres au domaine de l'application (par exemple, santé, sport, ...),
 - le contexte utilisateur : ses intérêts, besoins, objectifs, capacités, attitudes existantes, son engagement, son style de vie, sa culture, sa personnalité, etc.,
 - le contexte technologique : les forces et faiblesses, risques et opportunités, de chaque plateforme, et élément logiciel doivent être identifiés.
- L'analyse de la stratégie persuasive : quel message va être délivré par le système pour atteindre l'intention de persuasion, par quel moyen ?

Cette caractérisation va au-delà du contexte persuasif. L'intention, qui se focalise sur le porteur d'intention et le type de changement souhaité, traite plus de la finalité du système persuasif à concevoir que du contexte dans lequel aura lieu cette persuasion. De même, l'étude de la stratégie est à rapprocher de la mise en œuvre de la persuasion plus que de son contexte. Reste l'événement. Dans cette troisième catégorie, Oinas-Kukkonen distingue 3 sous-catégories : le contexte d'usage, le contexte utilisateur, et le contexte technologique (cf. Figure 2). Dans la description qu'il en fait, le contexte d'usage est une vision statique du contexte. Il décrit les grandes caractéristiques du domaine d'application auquel le système persuasif appartient. Le contexte utilisateur, comme son nom l'indique, se focalise sur l'utilisateur, et en particulier ses états internes (objectifs, motivations, besoins, ...). En s'appuyant sur la théorie de la fixation d'objectifs (Locke & Latham, 2002), Oinas-Kukkonen souligne l'importance de l'auto-détermination des objectifs par l'individu, et du choix du niveau adéquat de difficulté. Enfin, le contexte technologique s'intéresse principalement aux plateformes par lesquelles la persuasion technologique sera mise en œuvre. Oinas-Kukkonen indique qu'il faut étudier les forces et faiblesses de chaque plateforme au moment de la conception, mais n'apporte pas plus de détail.

Figure 2 : Analyse du contexte persuasif dans PSD (Oinas-Kukkonen & Harjumaa, 2009)



Dans cette description du contexte persuasif, Oinas-Kukkonen n'inclut pas l'environnement physique et social qui pourtant semble jouer un rôle important dans la persuasion. De plus, cette description n'offre pas une vision dynamique du contexte, comme a pu le faire Coutaz pour le contexte interactif (Coutaz et al., 2005). Pourtant, il est difficile de douter que l'utilisateur et l'environnement sont susceptibles d'évoluer au cours du processus de persuasion. Cette description du contexte est avant tout destinée au concepteur de système persuasif, pour les aider à faire des choix au moment de la conception. Il n'est pas ici question de systèmes sensibles au contexte persuasif, capables de s'adapter dynamiquement à l'utilisateur ou à sa situation. Enfin, la description des interactions entre les états internes de l'individu, l'environnement aussi bien physique que social, et le comportement de l'individu est beaucoup plus riche dans la littérature de psychologie, que ce que l'on retrouve dans cette seconde étape du PSD.

4.2 Définition

En s'appuyant sur la définition du contexte de Bazire et Brézillon (2005), on peut décrire le contexte persuasif comme l'ensemble des contraintes qui influencent le comportement d'un individu engagé dans une tâche. Le comportement de l'individu et la tâche dans laquelle il est engagé peuvent cependant sembler redondants dans cette définition. Il faut comprendre le comportement comme les actions concrètes de l'individu à un instant donné et sa tâche comme un agencement d'actions orienté vers un but. En interaction homme-machine, « une tâche définit comment un utilisateur peut atteindre un but dans un domaine d'application spécifique. Le but est un souhait de modification de l'état d'un système » (Paterno, Mancini, & Meniconi, 1997). La tâche définit les actions que souhaite réaliser l'individu, alors que les contraintes agissent sur la concrétisation de ce souhait. Cependant, dans le cadre de la persuasion, la tâche elle-même est cible de contraintes. Il est possible de persuader en facilitant la pratique d'un comportement (par exemple, le principe de réduction (Fogg, 2003)) mais aussi en suscitant un désir de pratiquer ce comportement chez l'individu (par exemple, le principe de conditionnement (Fogg, 2003)). Le comportement souhaité n'émane plus de l'individu d'après un plan, une tâche qu'il aurait définie préalablement, mais est d'abord l'œuvre du « persuadeur » qui cherche à influencer l'individu pour qu'il fasse sien de ce comportement souhaité. Le processus de persuasion englobe l'ensemble des contraintes sur le comportement, du désir d'agir à la concrétisation de l'action. De plus, si la définition de Bazire et Brézillon identifie le comportement sous contrainte en fonction de la tâche dans laquelle cet individu est engagé, dans le cas de la persuasion le comportement qui importe est celui que le « persuadeur » cherche à faire adopter à l'individu. Les

contraintes sur les autres comportements de l'individu, potentiels ou réels, ne sont pas pertinentes dans l'étude d'un contexte persuasif particulier, en dehors de l'influence qu'elles auraient sur l'adoption du comportement cible. **Nous proposons donc de définir le contexte persuasif comme l'ensemble des contraintes qui influencent l'adoption d'un comportement cible par un individu donné.**

4.3 Le paradoxe d'un système persuasif interactif

Comme l'indique Oinas-Kukkonen avec le 7ème postulat du PSD, « le système persuasif doit chercher à être à la fois utile et utilisable » (Oinas-Kukkonen & Harjuma, 2009). En cela, il rappelle avant tout que **la persuasion est une interaction**. A ses origines la persuasion était l'art d'influencer par le discours (Aristote, s. d.). Elle a été plus tard étudiée sous l'angle d'une communication (Hovland, Janis, & Kelley, 1953). Dans tous les cas, la persuasion est l'acte d'une source sur une cible. C'est une interaction. Pour conséquence, si le système n'est pas utile ou pas utilisable, l'utilisateur se détournera du système, et ce dernier n'aura plus l'occasion de le persuader d'adopter le comportement cible. Le contexte persuasif est donc un contexte interactif, et partage avec lui ses difficultés de prise en compte concrète dans les systèmes : la captation des états internes de l'utilisateur et la subjectivité du contexte. Ces deux points sont peut-être même plus prégnants dans le cas de la persuasion, par l'importance des entités cognitives dans l'élaboration d'une intention.

Si la persuasion est une interaction, l'interaction est une action, donc un comportement. Interagir, c'est agir. Toutes les entités du contexte persuasif, cognitives comme environnementales peuvent être pertinentes dans le contexte interactif. Elles permettent aux systèmes de comprendre et d'anticiper les actions d'interaction de l'utilisateur afin d'optimiser son utilité et son utilisabilité. C'est notamment le cas de l'intention, qui, grâce à la théorie du comportement planifié (Ajzen, 1991), peut être mieux comprise et anticipée par l'intermédiaire de l'attitude, des normes sociales et du sentiment d'auto-efficacité. Venkatesh a d'ailleurs proposé une théorie dédiée à l'interaction avec les systèmes informatiques, inspirée de la théorie du comportement planifié : la théorie unifiée de l'acceptation et de l'utilisation de la technologie (Venkatesh, Morris, Davis, & Davis, 2003).

L'identification de la persuasion à une interaction soulève cependant un paradoxe quant à la finalité de ces systèmes. Comment peuvent-ils viser à la fois l'utilité et la persuasion ? Comment un système peut-il à la fois vouloir s'adapter à l'utilisateur, à ses intentions, tout en voulant le persuader, c'est-à-dire modifier ses intentions ? Pour mieux comprendre cette problématique, nous choisissons de l'illustrer sur trois exemples :

- Un fumeur de longue durée est résigné. Après de multiples tentatives d'arrêt du tabac, qui se sont toutes soldées par un échec, il ne croit plus être capable un jour de se sevrer, même s'il est conscient des conséquences néfastes de son comportement. Une application d'aide à l'arrêt du tabac peut-elle être utile à ce fumeur, malgré sa résignation ?
- Un utilisateur enthousiaste d'une application l'incitant à faire du sport est fatigué, malade, blessé. Comment cette application peut-elle lui être utile pendant cette période ?
- Un adolescent déteste lire, surtout la littérature classique. Il ne prend aucun plaisir à cette activité. Pour lui, c'est fastidieux et ennuyant. Pourquoi lire un livre de 300 pages lorsqu'un film de 2 heures peut raconter la même histoire ? Comment une application d'incitation à la lecture d'œuvres classiques peut-elle se rendre utile auprès de cet adolescent ?

La réponse à ces trois exemples est la même : le système persuasif est utile s'il est efficace. C'est évident pour le fumeur de longue durée. Par sa résignation, il n'a pas l'intention d'arrêter de fumer, mais si le système est capable de le faire changer d'avis et

réussir son sevrage du tabac, il sera perçu comme utile par son utilisateur. De même, l'application d'aide au sport est perçue comme utile lorsque son utilisateur dispose de tous ses moyens physiques. Cependant, pendant cette période de maladie ou de blessure, pour éviter un sentiment de frustration chez l'utilisateur, le système a peut-être intérêt à éviter tout message ou toute notification d'incitation à la pratique du sport ou de lui rappeler régulièrement son inactivité. Ne pouvant l'inciter à pratiquer une activité sportive, il ne peut être perçu comme utile par l'utilisateur. Enfin, il paraît très difficile à l'application d'incitation à la lecture d'œuvres classiques d'être perçue comme utile par l'adolescent. Ce n'est pas seulement une activité qu'il ne pratique pas, par méconnaissance, par manque de confiance en lui ou par manque de motivation. C'est une activité qu'il déteste, qu'il est incité à pratiquer dans le cadre scolaire, associée à un fort déplaisir. Toute tentative de persuasion a une forte probabilité d'être rejetée, et aucune de ces interventions ne sera alors perçue comme utile.

Les trois exemples précédents permettent aussi de mettre en avant la grande disparité des situations derrière une intention d'adopter ou non un comportement. Les facteurs d'influence de l'intention sont nombreux, et pas toujours cohérents. Un individu peut par exemple avoir une attitude favorable à un comportement mais ne pas l'adopter suite à l'influence de son environnement social ou parce qu'il ne s'en sent pas capable. Il ne faut pas voir l'individu comme un être purement rationnel, dont toutes les cognitions sont cohérentes, qui agit toujours en accord avec ses pensées. Il est aussi un être faillible, capable de renoncement, de découragement, pourvu d'attitudes contradictoires, évoluant dans un environnement physique et social parfois hostile à ses désirs. La grande disparité des situations derrière un refus d'adopter un comportement est la source de la variété des principes de persuasion. La probabilité de réussite de la persuasion est ainsi dépendante à la fois de la situation et de la stratégie persuasive. Cependant, le dernier exemple montre que dans certaines situations, la persuasion n'est peut-être tout simplement pas possible, quelle que soit la stratégie persuasive. Après tout, pourquoi vouloir persuader quelqu'un qui rejette viscéralement le comportement cible ? C'est aussi la part de liberté, d'autonomie de chaque individu. Et si ce comportement n'est pas socialement acceptable, ce n'est peut-être plus à la persuasion, mais à la coercition qu'il faut faire appel (comme la loi, la prison, ...).

Un système persuasif voulant être utile devra donc identifier ces impasses et chercher à toujours optimiser la probabilité de réussite de la persuasion. Et c'est ici que les difficultés inhérentes à la prise en compte du contexte (captation des états internes de l'individu, subjectivité du contexte) sont le plus prégnantes. Identifier la situation de l'utilisateur vis-à-vis d'un comportement particulier, pour sélectionner la meilleure stratégie de persuasion, et en déduire la probabilité de réussite de la persuasion, demande une connaissance parfaite des facteurs d'influence de ce comportement chez l'individu, donc du contexte persuasif. Il s'agit donc plus d'un idéal que d'une réalité, mais cet idéal doit être l'horizon de l'adaptation de la persuasion technologique : renforcer l'efficacité de la persuasion pour pouvoir espérer être perçue comme utile.

5 MODELISATION DU CONTEXTE PERSUASIF

La mise en œuvre de technologies persuasives adaptatives nécessite la prise en compte du contexte persuasif, c'est-à-dire des contraintes qui influencent l'adoption du comportement cible par l'utilisateur. Le contexte persuasif permet une meilleure compréhension des raisons pour lesquelles l'utilisateur du système a adopté ou non le comportement cible. A partir de la description de cette situation, le système peut alors identifier les leviers d'action les plus pertinents, les verrous à lever et ainsi mettre en œuvre la stratégie persuasive la plus efficace. Cependant, la littérature en persuasion technologique ne décrit pas ce contexte. Elle se focalise principalement sur les moyens d'agir sur le comportement de l'utilisateur, les principes de persuasion, sans identifier les leviers actionnés, ni la grande diversité des situations rencontrées. En revanche, la littérature en psychologie est riche en théories et modèles qui décrivent la manière dont un individu sélectionne un comportement plutôt qu'un autre. Ils identifient notamment les facteurs

environnementaux et les entités cognitives à l'œuvre dans ce processus. Ce sont les contraintes qui influencent l'adoption d'un comportement cible par un individu donné.

À la différence des systèmes interactifs, et de leur objectif d'utilité, l'idée ici n'est pas seulement d'accompagner, et de servir au mieux les intentions et comportements de l'utilisateur, mais de les influencer. L'ensemble de ces contraintes n'est donc pas seulement des critères pour l'adaptation du système, mais aussi des leviers d'action, sur lesquels le système peut tenter d'agir pour modifier le comportement de l'utilisateur.

Nous nous appuyons donc sur cette littérature (décrite en partie dans (Foulonneau, Calvary, & Villain, 2015)) pour proposer un modèle du contexte persuasif. Ce modèle a pour objectifs :

- D'aider à la compréhension de la situation persuasive de l'utilisateur vis-à-vis du comportement cible,
- D'identifier les leviers d'action de la persuasion,
- De permettre l'élaboration d'une stratégie persuasive adéquate.

Cependant, ce modèle est bien un modèle du contexte persuasif, pas du comportement humain. Il identifie les leviers à disposition du persuadeur, qu'il soit humain ou technologique, mais ne prétend pas expliquer le comportement d'un individu. De même, ce modèle ne prétend pas à l'exhaustivité. La littérature sur les comportements humains est particulièrement riche. Nous nous sommes ici appuyés sur les théories et modèles utilisés et cités dans la littérature des technologies persuasives. Par exemple, les émotions n'apparaissent pas dans ce modèle, bien qu'il semble acquis qu'elles puissent avoir une incidence sur le comportement des gens (par exemple, une personne qui fuit lorsqu'elle a peur).

Ce modèle est tout d'abord composé de trois grands ensembles que sont l'environnement, l'individu et le comportement, identifiés à partir du modèle triadique réciproque de Bandura (1986). Bandura y stipule que l'environnement, l'individu et le comportement sont dans une relation d'influence réciproque. Cependant, d'autres théories et modèles apportent plus de détails sur la manière dont ces trois ensembles s'influencent mutuellement. Ils permettent notamment d'identifier les facteurs de l'environnement et les entités cognitives qui composent ces ensembles et agissent comme contraintes à l'adoption d'un comportement particulier.

Les facteurs d'influence de l'environnement sont l'environnement social, les ressources et opportunités, les normes sociales, les messages persuasifs, notamment leurs sémantiques et leurs caractéristiques, la source de ces messages, et pour finir les individus qui par leurs comportements servent de modèle à l'individu cible de la persuasion. Concernant les entités cognitives de l'individu, on retrouve les attitudes, les conséquences anticipées, les objectifs, le sentiment d'auto-efficacité, les compétences, l'auto-évaluation du comportement, les intentions et la motivation.

L'environnement social est composé de l'ensemble des êtres humains en interaction directe ou indirecte avec l'individu. Cependant, l'influence sur ce dernier, de chacune des personnes composant cet environnement, varie en fonction de leur proximité et de la situation. Cette influence peut de plus prendre de multiples formes. Une de ces personnes peut être la source d'un message persuasif à l'attention de l'individu (cf. modèle de probabilité d'élaboration (Petty & Cacioppo, 1986)). Par son action, elle peut aussi être un modèle à suivre (cf. apprentissage vicariant (Bandura, 1971)). Elle peut prendre la forme, plus diffuse, d'une norme sociale (cf. théorie de l'action planifiée (Ajzen, 1991)). Elle peut être une ressource ou une opportunité, nécessaire à la pratique d'un comportement (cf. modèle Habileté – Motivation – Opportunité (MacInnis, Moorman, & Jaworski, 1991)). Enfin, le comportement ou l'opinion de cet environnement, dans une circonstance donnée, peut

servir à l'individu à l'aide d'heuristiques, dans son processus de traitement d'une information persuasive (Meyer, 2000).

Les **ressources** sont les moyens matériels, sociaux, financiers, temporels, ..., présents dans l'environnement (les ressources internes à l'individu comme ses compétences, ses connaissances ne sont pas incluses), et utiles ou nécessaires à la pratique du comportement. Une **opportunité** est la présence circonstancielle des ressources nécessaires à un comportement, rendant une situation favorable à la pratique de ce comportement. Plusieurs théories mettent en avant l'importance que peuvent prendre les ressources et opportunités dans le contexte persuasif. Ainsi, le modèle MOA (MacInnis et al., 1991) fait des opportunités, au même titre que les capacités de l'individu et sa motivation, un facteur d'influence du comportement. La théorie du comportement planifié (Ajzen, 1991) précise que les ressources et les opportunités agissent sur le comportement par l'intermédiaire de la perception de contrôle sur ce comportement.

Les **normes sociales** sont les mœurs, les habitudes, les coutumes, les règles de conduite et les opinions partagées par un groupe social. Elles influent sur le comportement par l'intermédiaire de l'intention d'après la théorie du comportement planifié (Ajzen, 1991).

Le **message persuasif** est un message émanant d'une source, à l'attention d'une cible (l'individu) dont le contenu et le rôle sont de modifier une attitude de la cible. Les théories du traitement de l'information persuasive, tels que le modèle de probabilité de l'information (Petty & Cacioppo, 1986) et le modèle du traitement heuristique systématique de l'information (Chaiken, 1980), identifient deux modes de traitement de l'information qui détaillent la manière dont une information persuasive influence l'attitude d'un individu. Le mode principal ou systématique met en avant le rôle du **contenu sémantique** du message. De son côté, le mode périphérique ou heuristique insiste sur les **propriétés** du message (Meyer, 2000).

La **source** du message persuasif peut aussi être un facteur d'influence de l'attitude en cas de traitement heuristique de l'information (Meyer, 2000).

Par son comportement, un individu peut influencer le comportement d'un autre en tant que **modèle** à suivre. La théorie de l'apprentissage vicariant (Bandura, 1971) stipule que, par l'observation d'un modèle, un individu assimile des compétences, et modifie sa motivation à adopter le comportement par l'interprétation de ses conséquences chez l'individu modèle.

L'**attitude** est un sentiment personnel positif ou négatif à l'égard du comportement (Fishbein & Ajzen, 1975). La théorie du comportement planifié (Ajzen, 1985) en fait un des antécédents de l'intention. Pour la théorie de la dissonance cognitive (Festinger, 1957), l'individu recherche une cohérence entre ses attitudes et ses comportements. C'est donc une influence bidirectionnelle : l'attitude peut influencer le comportement, mais à l'inverse le comportement peut influencer l'attitude.

Les **conséquences anticipées** sont les croyances de l'individu dans les conséquences probables à l'adoption du comportement. Pour la théorie du comportement planifié (Ajzen, 1985), ces croyances, pondérées par l'importance que l'individu accorde à chacune, influencent l'attitude. Pour la théorie sociocognitive (Bandura, 1986), elles influencent la formation des objectifs de l'individu. Le conditionnement opérant (Skinner, 1976) met lui aussi en avant le rôle des conséquences anticipées sur le comportement de l'individu, en proposant d'ajouter ou de soustraire des conséquences à un comportement.

Les **objectifs** sont les résultats que l'individu compte obtenir en adoptant un comportement ou en réalisant un ensemble d'actions. Dans le cadre des processus d'autorégulation de l'individu présentés dans la théorie sociocognitive (Bandura, 1986), l'objectif influence la motivation, notamment par l'anticipation du résultat escompté. De plus, « l'anticipation de la satisfaction provenant de l'atteinte d'un objectif constitue une source de motivation » (Bandura, 1993). Pour la théorie d'élaboration d'objectif, la difficulté de l'objectif

influence le niveau de motivation (Locke & Latham, 2002). L'objectif sert aussi de critère au processus d'auto-évaluation.

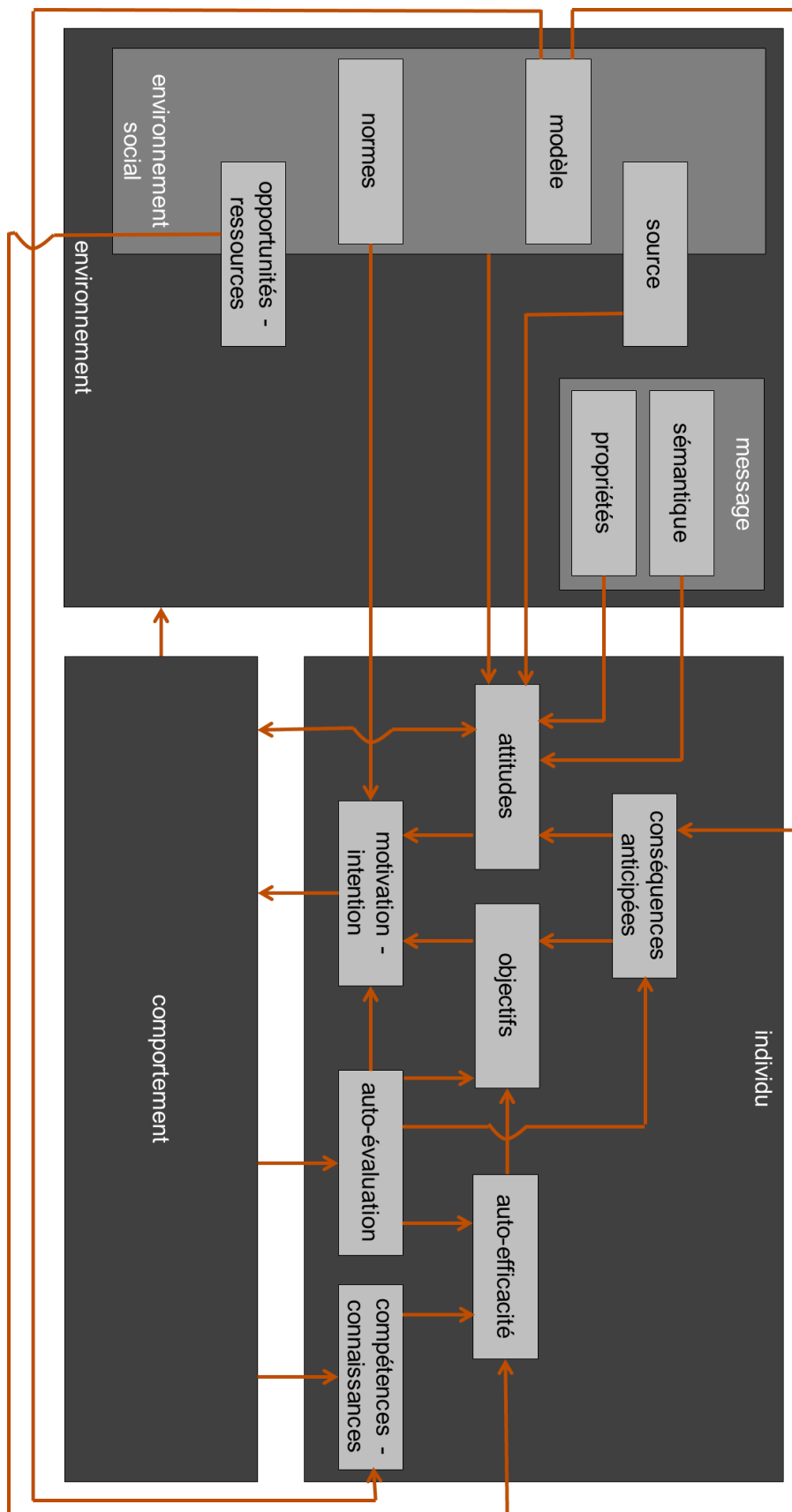
La **perception de contrôle du comportement**, issu de la théorie du comportement planifié (Ajzen, 1985), « fait référence à la perception que les individus ont de la facilité ou difficulté à adopter un comportement » [p. 183] (Ajzen, 1991). Ajzen compare la perception de contrôle à différents concepts de la littérature, notamment le contrôle perçu de la théorie de la motivation à la réussite (Atkinson, 1964) ou le locus de contrôle (Rotter, 1966). Cependant le concept qu'il identifie comme « le plus compatible avec » la perception de contrôle sur le comportement est le **sentiment d'auto-efficacité** de Bandura [p. 184] (Ajzen, 1991). « Une grande partie de nos connaissances sur le rôle de la perception de contrôle du comportement provient des travaux de recherche de Bandura » [p. 184] (Ajzen, 1991). Dans un souci de concision et de lisibilité du modèle, nous choisissons donc d'assimiler la perception de contrôle du comportement au sentiment d'auto-efficacité, c'est-à-dire la perception qu'ont les individus de leur capacité à réaliser une tâche. Ce sentiment d'auto-efficacité affecte l'intention et les objectifs qu'élaborent les individus, notamment « le défi choisi par l'individu, l'effort consacré à l'entreprise, la persévérance en face des difficultés » (Bandura, 1993).

Les **compétences et connaissances** sont l'ensemble des ressources internes utiles ou nécessaires à la pratique du comportement. Comme pour les ressources externes (i.e. de l'environnement), elles influencent le comportement d'après la théorie MOA (MacInnis et al., 1991), et plus précisément la perception de contrôle du comportement d'après la théorie du comportement planifié (Ajzen, 1985).

L'**auto-évaluation** du comportement est le résultat du processus d'auto-évaluation décrit par la théorie sociocognitive (Bandura, 1986). D'après cette théorie, elle influence les conséquences anticipées du comportement (la satisfaction ou l'insatisfaction de l'atteinte ou non de l'objectif), le sentiment d'auto-efficacité (augmente ou diminue la confiance suivant le résultat de l'évaluation), l'élaboration d'objectifs (à la hausse, à la baisse, voire l'abandon suivant le résultat de l'évaluation), et la motivation (renforcement de la motivation parfois en cas d'échec).

Les **intentions** sont décrites par Ajzen comme « les facteurs motivationnels qui influencent le comportement ; elles indiquent avec quelle insistance les gens sont prêts à essayer, quelle somme d'efforts ils s'appêtent à déployer, dans le but d'adopter le comportement » [p. 181] (Ajzen, 1991). Il assimile donc l'intention à la **motivation**, entendu comme une somme d'efforts prêts à être déployés. Comme pour la perception de contrôle et l'auto-efficacité, nous fusionnons dans ce modèle l'intention et la motivation, dans un souci de concision et de lisibilité du modèle. Bandura décrit d'ailleurs la motivation comme « un concept général représentant un ensemble de mécanismes de régulation auxquels on accorde des fonctions de direction et d'activation. Au niveau générique, ce construit englobe les diverses classes d'évènements qui stimulent un individu à passer à l'action. Les indices typiques du niveau de motivation sont le choix de l'action ainsi que l'intensité et la persistance de l'effort » (Bandura, 1993). On y retrouve la notion de somme d'efforts prêts à être déployés. L'intention comme la motivation agissent directement sur le comportement.

Figure 3 : Modèle du contexte persuasif



6 LE MODELE EN ACTION

Nous illustrons ici le pouvoir d'analyse et de comparaison du modèle de contexte persuasif sur un cas d'étude connu de l'état de l'art : la réduction de la consommation d'eau sous la douche. En effet, avec la réduction des gaz à effet de serre et le maintien de la biodiversité, la réduction de la consommation d'eau est un des enjeux écologiques majeurs du 21^{ème} siècle. Pour y répondre plusieurs solutions ont été proposées dans le champ des technologies persuasives. Nous allons en particulier étudier trois de ces applications persuasives :

- *Show-Me*, pour «SHOwer Water MEter» (Kappel & Grechenig, 2009), prend la forme d'une barre d'une dizaine de LEDs qui s'allument au fil de la consommation d'eau. Chaque LED correspond à une consommation d'eau de 5 litres.
- *UpStream* (Kuznetsov & Paulos, 2010) utilise la métaphore d'un feu tricolore, passant du vert à l'orange lorsqu'une quantité d'eau équivalente à la consommation moyenne d'une douche a été consommée, puis au rouge lorsque cette moyenne est dépassée de 50%.
- *ShowerCalendar* (Laschke, Hassenzahl, Diefenbach, & Tippkämper, 2011) présente la consommation d'eau de chaque douche sous la forme d'un point dont le diamètre varie en fonction de l'eau consommée. Ces points sont répartis dans un calendrier affiché sur la vitre de la douche. Chaque utilisateur est représenté par une couleur dans le calendrier.

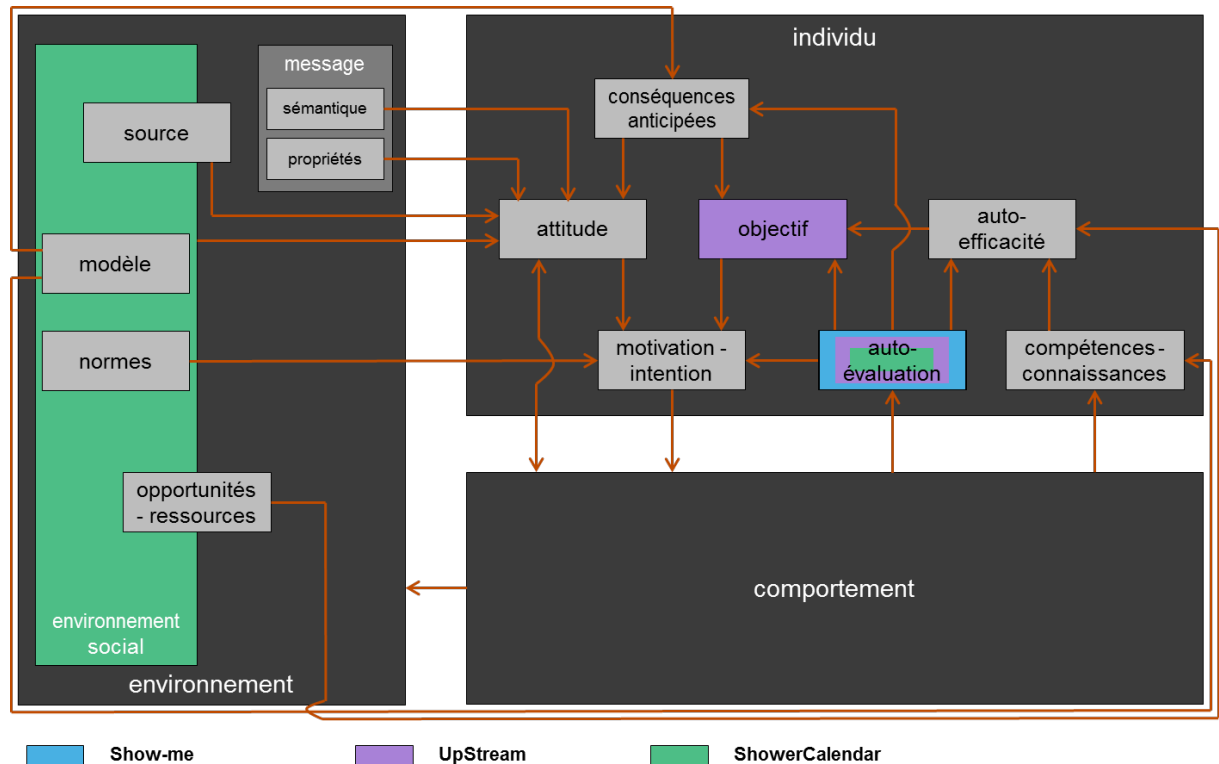
Chacune de ces solutions est présentée plus en détail dans (Foulonneau, Calvary, & Villain, 2015).

Avec *Show-me*, Kappel et Greshenig proposent de réduire la consommation d'eau lors des douches en s'appuyant sur le principe d'auto-surveillance. Il s'agit alors de « permettre aux utilisateurs de monitorer leurs comportements afin d'atteindre un but prédéterminé » (Fogg, 2003). La justification de ce choix s'appuie sur l'état de l'art : « les feedbacks ont montré qu'ils étaient une méthode efficace pour promouvoir des comportements durables » (Kappel & Grechenig, 2009). Mais ils ont aussi mené une étude qui a montré que plus de 65% des répondants étaient déjà convaincus du bien-fondé des économies d'eau et des économies d'énergies, éliminant ainsi l'attitude comme verrou à l'adoption du comportement. A l'inverse, en choisissant le principe d'auto-surveillance, ils choisissent d'agir sur l'auto-évaluation. En effet, le principe d'auto-surveillance s'inscrit dans la théorie sociocognitive (Bandura, 1986). En fournissant une mesure du comportement, il agit avant tout sur le résultat de l'auto-évaluation décrite par Bandura. Les autres leviers d'action identifiés dans le modèle du contexte persuasif ne sont pas évoqués par Kappel et Greshenig, à l'exception de l'environnement social dans le retour de l'évaluation pour l'un des foyers participant au test. Le dispositif fut la source de discussion et de comparaison des comportements au sein du foyer qui accentuèrent l'efficacité du dispositif.

Comme pour *Show-Me*, *UpStream* choisit le principe d'auto-surveillance à partir de l'état de l'art de cas d'usage proche de la réduction de la consommation d'eau (réduction de la consommation d'électricité, de la production de CO₂, ...). Kuznetsov et Paulos cherchent moins à identifier le levier d'action ou le principe de persuasion le plus adéquat à leur problématique que la mise en œuvre du principe d'auto-surveillance la plus adaptée. Ainsi, ils multiplient les expérimentations en faisant varier leur dispositif (affichage numérique, affichage ambiant, ...) pour finalement proposer une version finale basée sur la métaphore du feu tricolore. Cependant, avec cette métaphore, ils s'éloignent du principe d'auto-surveillance pour se rapprocher du principe de conditionnement (par définition, « les systèmes informatiques peuvent utiliser le renforcement positif pour modeler des comportements complexes ou transformer des comportements existants en habitudes » (Fogg, 2003)). La mesure du comportement n'est plus restituée qu'à travers quatre valeurs

(vert, orange, rouge, rouge clignotant). A l'inverse, un feu vert à l'issue de la douche est vécu comme une récompense, et un feu rouge comme une punition (toute proportion gardée bien sûr ; l'un apporte de la satisfaction, l'autre un désagrément). Cela s'explique notamment par l'introduction d'un nouveau levier d'action : l'objectif. En effet, contrairement à *Show-Me*, *UpStream* prend en charge la tâche de fixer la quantité d'eau qu'il est acceptable de consommer lors d'une douche, au lieu de la laisser à l'utilisateur.

Figure 4 : Contexte persuasif de Show-me, UpStream et ShowerCalendar



ShowerCalendar s'appuie sur les conclusions des deux précédents dispositifs, notamment :

- Lorsque le dispositif fixe lui-même l'objectif de consommation d'eau, il peut créer de la frustration chez l'utilisateur si l'objectif est trop facile ou trop difficile à atteindre,
- Lorsque le dispositif crée des échanges entre les membres du foyer à propos des économies d'eau sous la douche, voire de la compétition, le dispositif est plus efficace.

Laschke et al. choisissent donc de ne pas introduire d'objectif à leur dispositif d'auto-surveillance, mais surtout de conserver l'historique de consommation d'eau de chaque membre du foyer, en assignant une couleur différente à chacun d'entre eux, afin de favoriser l'apprentissage et la compétition. Ils introduisent ainsi un nouveau levier d'action à leur dispositif : l'environnement social.

A travers l'étude de ces trois solutions, on remarque que le choix des leviers d'action, pour une problématique donnée, ne s'appuie pas sur une étude exhaustive des leviers à disposition des concepteurs, à savoir, le contexte persuasif. Il est plus le fruit d'un travail empirique, et d'analogies avec des solutions proposées pour des problématiques similaires.

7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le contexte persuasif est l'ensemble des contraintes qui influencent l'adoption d'un comportement cible par un individu donné, que ces contraintes affectent le désir d'action ou sa réalisation. Il reprend l'ensemble des dimensions du contexte interactif (environnement physique, social et technologique, individu, ...), mais se différencie de celui-ci par l'usage qui peut en être fait. En effet, la persuasion étant avant tout une interaction, elle est susceptible d'être perçue à la fois comme un ensemble de critères d'adaptation à la recherche de la satisfaction de l'utilisateur (finalité interactive), ou comme un ensemble de leviers d'action pour l'adoption d'un comportement donné (finalité persuasive). Cette double nature peut sembler contradictoire (satisfaire aux exigences de l'utilisateur tout en influençant ces dernières), mais se résout par l'efficacité du dispositif, dans le cadre d'une persuasion autogène qui vise un changement de comportement volontaire.

Si le contexte persuasif est peu abordé dans la littérature en persuasion technologique, la psychologie propose en revanche de nombreuses théories qui permettent d'identifier ses composantes, c'est-à-dire les contraintes et facteurs d'influence du comportement humain. Nous nous appuyons sur cette littérature pour proposer un modèle du contexte persuasif qui vise trois objectifs :

- Mieux comprendre la situation persuasive de l'utilisateur vis-à-vis du comportement cible,
- Mieux identifier les leviers d'action de la persuasion,
- Permettre l'élaboration d'une stratégie persuasive adéquate à la situation.

Nous avons illustré ce modèle de contexte persuasif, notamment son pouvoir analytique et comparatif, sur le cas d'usage de la réduction de la consommation d'eau sous la douche. Au-delà des mises en évidence des différentes stratégies persuasives à l'œuvre, nous avons surtout pointé le caractère empirique du choix des leviers d'action dans la mise en œuvre d'un dispositif persuasif donné. De ce fait, nous souhaitons par la suite proposer une méthode d'évaluation du contexte persuasif, afin de faciliter l'identification des leviers d'action les plus pertinents pour une problématique persuasive donnée.

8 REFERENCES

- ▶ Ajzen, I. (1985). From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior. In *Action Control* (p. 11–39).
- ▶ Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179-211.
- ▶ Aristote. (s. d.). *La Rhétorique* (Vol. 1).
- ▶ Atkinson, J. W. (1964). *An introduction to motivation*. Princeton,, NJ: Van Nostrand.
- ▶ Bandura, A. (1971). *Social Learning Theory*. New York: General Learning Press.
- ▶ Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.
- ▶ Bandura, A. (1993). La théorie sociale-cognitive des buts (L. Bouffard, Trad.). *Revue québécoise de psychologie*, 14(2), 43-83.
- ▶ Bazire, M., & Brézillon, P. (2005). Understanding Context Before Using It. In A. Dey, B. Kokinov, D. Leake, & R. Turner (Éd.), *Modeling and Using Context* (Vol. 3554, p. 29–40).
- ▶ Brézillon, P., & Gonzalez, A. J. (Éd.). (2014). *Context in Computing*.

- ▶ Calvary, G., Coutaz, J., Thevenin, D., Limbourg, Q., Bouillon, L., & Vanderdonckt, J. (2003). A Unifying Reference Framework for multi-target user interfaces. *Interacting with Computers*, 15(3), 289-308.
- ▶ Camara, F. (2012). *Retours d'expérience sur la conception centrée valeur de Cocoon : vers des arbres de vie* (Informatique).
- ▶ Chaiken, S. (1980). Heuristic versus systematic information processing and the use of source versus message cues in persuasion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(5), 752-766.
- ▶ Chen, G., & Kotz, D. (2000). *A survey of context-aware mobile computing research*. Technical Report TR2000-381, Dept. of Computer Science, Dartmouth College.
- ▶ Cialdini, R. B. (1993). *Influence: The psychology of persuasion* (Rev. ed). New York: Morrow.
- ▶ Coutaz, J., Crowley, J. L., Dobson, S., & Garlan, D. (2005). Context is key. *Communications of the ACM*, 48(3), 49.
- ▶ Dey, A. K. (2001). Understanding and Using Context. *Personal and Ubiquitous Computing*, 5(1), 4-7.
- ▶ Drogehorn, O., Haseloff, S., Loeffler, T., Dargie, W., SianLun Lau, & David, K. (2005). *Context awareness in I-centric systems - Dynamic Context Learning Using a Rule-Based Approach* -. 211-216.
- ▶ Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. Stanford: Stanford Univ. Press.
- ▶ Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research*. Reading, Mass: Addison-Wesley Pub. Co.
- ▶ Fogg, B. J. (2003). *Persuasive technology: Using computers to change what we think and do*. Amsterdam ; Boston: Morgan Kaufmann Publishers.
- ▶ Foulonneau, A., Calvary, G., & Villain, E. (2015). *Etat de l'art en conception de systèmes persuasifs*. 4(1).
- ▶ Guizzo, E. (2011). How google's self-driving car works. *IEEE Spectrum Online*, October, 18.
- ▶ Harjumaa, M., & Oinas-Kukkonen, H. (2007). Persuasion Theories and IT Design. In *Persuasive Technology* (Vol. 4744, p. 311-314).
- ▶ Hovland, C. I., Janis, I. L., & Kelley, H. H. (1953). *Communication and persuasion: Psychological studies of opinion change*. New Haven, CT: Yale University Press.
- ▶ Hsieh, G., Munson, S. A., Kaptein, M. C., Oinas-Kukkonen, H., & Nov, O. (2014). *Personalizing behavior change technologies*. 107-110.
- ▶ Kappel, K., & Grechenig, T. (2009). « show-me »: *water consumption at a glance to promote water conservation in the shower*. 1.
- ▶ Kaptein, M. C. (2012). *Personalized Persuasion in Ambient Intelligence* (Eindhoven University of Technology).
- ▶ Kuznetsov, S., & Paulos, E. (2010). *UpStream: Motivating water conservation with low-cost water flow sensing and persuasive displays*. 1851.
- ▶ Laschke, M., Hassenzahl, M., Diefenbach, S., & Tippkämper, M. (2011). *With a little help from a friend: A shower calendar to save water*. 633.

- ▶ Locke, E. A., & Latham, G. P. (2002). Building a practically useful theory of goal setting and task motivation: A 35-year odyssey. *American Psychologist*, 57(9), 705-717.
- ▶ MacInnis, D., Moorman, C., & Jaworski, B. (1991). Enhancing and Measuring Consumers' Motivation, Opportunity, and Ability to Process Brand Information from Ads. *Journal of Marketing*, 55(4), 32-53.
- ▶ Meyer, T. (2000). Le modèle de Traitement Heuristique Systématique de l'information : Motivations multiples et régulation du jugement en cognition sociale. *L'année psychologique*, 100(3), 527-563.
- ▶ Oinas-Kukkonen, H., & Harjumaa, M. (2009). *Persuasive Systems Design: Key Issues, Process Model, and System Features*. 24(28).
- ▶ Paterno, F., Mancini, C., & Meniconi, S. (1997). ConcurTaskTrees: A Diagrammatic Notation for Specifying Task Models. In *Human-Computer Interaction INTERACT '97* (p. 362-369).
- ▶ Petty, R. E., & Cacioppo, J. T. (1986). The Elaboration Likelihood Model of Persuasion. In *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 19, p. 123–205).
- ▶ Rotter, J. B. (1966). Generalized expectancies for internal versus external control of reinforcement. *Psychological Monographs: General and Applied*, 80(1), 1–28.
- ▶ Skinner, B. F. (1976). *About behaviorism*. New York: Vintage Books.
- ▶ Smids, J. (2012). The Voluntariness of Persuasive Technology. In *Persuasive Technology. Design for Health and Safety* (Vol. 7284, p. 123-132).
- ▶ Thevenin, D., & Coutaz, J. (1999). Plasticity of user interfaces: Framework and research agenda. *Proceedings of INTERACT*, 99, 110–117.
- ▶ Turing, A. M. (1937). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, s2-42(1), 230–265.
- ▶ Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.

9 BIOGRAPHIE



Anthony Foulonneau

est ingénieur de recherche à Orange Labs Rennes. Il a soutenu une thèse en Informatique sur les technologies persuasives plastiques.



Gaëlle Calvary

est professeure en Informatique à Grenoble INP. Ses travaux portent sur la plasticité des Interfaces Homme-Machine (IHM). Son but est de fournir des modèles, méthodes et outils pour soutenir le développement d'IHM plastiques. L'approche qu'elle a le plus explorée est l'Ingénierie Dirigée par les Modèles. Elle défend l'unification des phases de conception, d'exécution et d'évaluation autour des notions de modèles et de transformations de modèles. Elle explore aujourd'hui la plasticité comme levier de persuasion technologique.



Eric Villain

est ingénieur de recherche pour les Orange Labs dans le domaine des interactions innovantes en mobilité (tactile, réalité augmentée, interfaces 3D). Il a piloté la conception de plusieurs projets dans le domaine de la médiation culturelle, comme le guide mobile des jardins de Versailles, ou le guide multimédia du musée du Louvre-Lens.

Persuasive Systems for Energy: Cartography of Design Spaces and Proposition of the UP+ Framework

Van Nguyen, Yann Laurillau, Gaëlle Calvary, Joëlle Coutaz

► **To cite this version:**

Van Nguyen, Yann Laurillau, Gaëlle Calvary, Joëlle Coutaz. Persuasive Systems for Energy: Cartography of Design Spaces and Proposition of the UP+ Framework. Journal d'Interaction Personne-Système, Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM), 2020, Volume 9, Special Issue: PISTIL 2 (1). hal-03112850

HAL Id: hal-03112850

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03112850>

Submitted on 17 Jan 2021

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.



Cartographie d'espaces de conception des systèmes persuasifs appliqués à l'énergie et proposition du cadre UP+

Van Bao NGUYEN

Univ. Grenoble Alpes, CNRS,
Grenoble INP, LIG
F- 38058 Grenoble, France

Van-Bao.Nguyen@univ-grenoble-alpes.fr

Yann LAURILLAU

Univ. Grenoble Alpes, CNRS,
Grenoble INP, LIG
F- 38058 Grenoble, France

Yann.Laurillau@univ-grenoble-alpes.fr

Gaëlle CALVARY

Univ. Grenoble Alpes, CNRS,
Grenoble INP, LIG
F- 38058 Grenoble, France

Gaëlle.Calvary@univ-grenoble-alpes.fr

Joëlle COUTAZ

Univ. Grenoble Alpes, CNRS,
Grenoble INP, LIG
F- 38058 Grenoble, France

Joelle.Coutaz@imag.fr

Persuasive Systems for Energy: Cartography of Design Spaces and Proposition of the UP+ Framework.

Abstract. This article reviews surveys, design spaces, and frameworks related to the design of persuasive interactive systems, with a particular focus on energy. We first propose a cartography of these conceptual tools. Most previous work focuses on persuasion principles but is difficult to apply for the software design and engineering of persuasive interactive systems. As a result, we propose UP+, a new framework that synthesizes and revisits existing surveys, design spaces, and frameworks from the software engineering perspective of persuasive interactive systems.

Key words: behavior change process, persuasion, design space, cartography.

Résumé. Cet article propose un état de l'art d'espaces de conception et d'études pour les systèmes interactifs persuasifs, en particulier dans le domaine de l'énergie. Nous établissons et proposons une cartographie des principes de persuasion et des caractéristiques des systèmes persuasifs captées par ces outils. Nous observons que la plupart de ces outils sont difficiles à exploiter pour l'ingénierie de ces systèmes. Aussi, à partir de cette cartographie, nous proposons le framework UP+ qui synthétise et revisite ces outils d'un point de vue de l'ingénierie des systèmes interactifs persuasifs.

Mots-clés : processus de changement, persuasion, espace de conception, cartographie.

Édité par Pr. J.M.C. Bastien (Université de Lorraine) & Pr. G. Calvary (Université Grenoble Alpes)

1 INTRODUCTION

This article reviews surveys, design spaces, and frameworks related to the design of persuasive interactive systems with a particular focus on energy. Our analysis of the state of the art shows that most previous work on persuasive technologies for energy has focused on principles. Although principles are good tools for thought, they are rarely operationalized, making it difficult for practitioners to apply them for the software design and engineering development of persuasive interactive systems. In addition, the diversity of design spaces and cognitive frameworks makes it difficult to identify the most appropriate tool for a particular situation. Given the plethora of conceptual tools and surveys, we propose a cartography of these tools that provides practitioners with a synthetic and unifying view of the solution spaces developed so far. Based on this cartography, we propose UP+, a new framework aimed at engineering persuasive interactive systems that maps persuasion-oriented principles and concepts into implementable software functions.

This article is composed of three major parts. The following part reviews eight representative surveys, design spaces and frameworks from the literature. This is followed by a synthesis that highlights the similarities and differences between previous works. Based on this synthesis, UP+ is presented in the last part of the article.

2 DESIGN SPACES FOR PERSUASIVE INTERACTIVE SYSTEMS

This part reviews eight surveys, design spaces and frameworks from the literature: Pierce et al's dimensions for Eco-Visualizations (Pierce *et al.*, 2008), Froehlich's (Froehlich, 2009) and Fang's design spaces on feedback technologies (Fang & Hsu, 2010), Froehlich's comparative survey of eco-feedback systems (Froehlich *et al.*, 2010), Hamari et al's review of persuasive technologies (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014), Cano's design space (Cano *et al.*, 2015) and the SEPIA framework (Laurillau *et al.*, 2016). These contributions have been selected for their coverage. As such, they will serve as a reference set for the rest of this article. Design tools that are relevant to our study such as Bartram's framework (Bartram, 2015), are not described explicitly in this article, as their coverage is included in our reference set.

2.1 Eco-Visualization: feedback type, use-context, and strategies

Eco-Visualization systems (EVs) are a subset of persuasive interactive systems dedicated to the visualization of consumption. They aim at revealing energy usage to promote sustainable behavior. In a critical survey of ten noteworthy EVs, Pierce et al. (Pierce *et al.*, 2008) have identified three dimensions to characterize them: feedback type, use-context and strategies.

Feedback type. As EVs mostly focus on revealing energy consumption as a means to inspire behavior change, the design of feedback plays a crucial role. Pierce et al. focus on the data to be represented and on the visualization technique used.

- *Data.* Consuming energy has an impact at many scales: locally (e.g. at the level of the home) or globally (e.g. at the city level). Data feedback is then characterized in terms of small-scale context of effects such as at a home appliance scale, or in terms of large-scale context of effects such as residential areas.

- *Visualization.* Two styles of visual feedback are considered: pragmatic or artistic. Pragmatic design refers to approaches where the information is illustrated through traditional visual elements such as lines, charts and graphs. This visualization style aims at providing clear and intelligible information or at making patterns of use salient. On the other hand, artistic style provides different kinds of user experience where the same information is presented in artful and abstract manners.

Use-Context refers to “the environmental and cultural conditions of the space in which the EVs are implemented” (Pierce *et al.*, 2008). Pierce *et al.* use the amount of control to characterize EVs in different use-contexts:

- *Dweller control*: depending on the context, a dweller may have a high level of control on energy consumption (e.g. at home) or a low level of control (e.g. in a public area).
- *Third-Party control*: depending on the context, a third-party may have a low level of control, or a high level of control over the dweller as in business offices.

A use-context is thus characterized as a two-dimensional level of control. At home, a dweller has generally a high level of control. The third-party control should be low in a home but high in a flat part of a housing building. Such a two-dimensional plotting facilitates the identification of the key elements to be considered for the design of an EV.

Strategies. Depending on the use-context, an EV system may use one, or several, of the following 8 persuasive strategies (Pierce *et al.*, 2008):

Scope to conserve goals (clear and useful feedback)

- Offering behavioral cues and indicators,
- Providing tools for analysis.

Scope to create incentives

- Creating social incentive to conserve,
- Connecting behavior to material impacts of consumption.

Scope to create or support new goals

- Encouraging playful engagement and exploration of energy,
- Projecting and cultivating sustainable lifestyles and values,
- Raising public awareness and facilitating discussion,
- Stimulating critical reflection.

From Pierce *et al.*'s work, we note two interesting elements. First, concerning data visualization in residential context, we appreciate the “artistic route” that may provoke user's reflection towards motivation, interest, and emotion, rather than towards pure utilitarian reasoning. In addition, artful representation can blend with the housing environment and become a valuable part of everyday life. Second, the suggestion for cooperative inhabitants towards a common goal relates to the social support for persuasion discussed by Fogg and Oinas-Kukkonen (refXX).

The authors also uncover two important issues: (1) how to effectively incorporate and apply strategies to different use-contexts; (2) how to ensure long-term change. They recommend designing interactive systems that are able to evolve over time so that they adapt progressively to the user's commitment and understanding.

2.2 Feedback technologies: Froehlich's Design Space

Feedback technologies aim at raising people awareness about their own behavior, and from there, to help them to change their behavior. Froehlich has identified a ten-dimensional design space to characterize feedback techniques targeted at energy consumption (Froehlich, 2009):

- **Frequency**: this dimension characterizes how frequently a system updates its feedback. According to the author, high frequency such as real time rendering, improves people's perception of the link between their actions and the consequences of these actions (Froehlich, 2009).
- **Measurement Unit**: some units are too technical to be easily understood by non-specialists, for example the use of ppm to express the concentration of suspended particles in the air. Froehlich recommends using alternative units such as the number of

trees that may enhance comprehension while providing subtle information that may raise different interests and motivations.

- **Data Granularity:** a system can present data at different spatio-temporal-source granularities ranging for example from a residential block, a building, and an apartment, to a room (space dimension), from a device to a set of devices (source dimension), from one year, month, day or hour (time dimension).
- **Push/Pull:** Pushed/pulled feedbacks are used to inform people about anomalies or unusual environmental events.
- **Presentation Medium:** feedback can be presented using traditional (paper) or modern (electronic displays) medium.
- **Location:** location of feedback is key to provide information in an effective manner. It could be embodied with the device (e.g. highly localized) or be independent (e.g. a bill).
- **Visual Design:** as in Pierce et al. classification presented above in 3.1 (Pierce *et al.*, 2008), the visual presentation of feedback may be “artistic” or “pragmatic” using numerical values and comprehensible representations such as graphs, or both.
- **Recommending Action:** a feedback system may offer personalized recommendations based on the user’s context.
- **Comparisons:** providing means to compare one’s behavior with past behavior or with some social norm, is a powerful approach to support behavior change.
- **Social Sharing:** this dimension concerns whether a feedback system uses social sharing feature as motivational incentive.

Despite the overlap between some of the dimensions – typically, a feedback system can support comparisons through its visual design or it can recommend actions through push/pull feedback notifications, this work offers a clear overview of the design of feedback systems. Most noteworthy are the Push/Pull, Recommending Action, Comparisons, and Social Sharing features.

2.3 Feedback technologies: Fang’s Design Space

In the same vein as (Froehlich, 2009) and (Pierce *et al.*, 2008), Fang (Fang & Hsu, 2010) considers that research in the design of feedback technologies is still insufficiently fostered. Fang has identified four qualities for the visual design of feedback systems: ambient, aesthetic, emotionally engaging, and metaphorical.

- **Ambient:** this dimension concerns the way a persuasive system presents feedback. Ambient feedback is not intrusive, does not interrupt users in their daily life. Fang considers that an “ambient information consumes little or no awareness” (Fang & Hsu, 2010). The Power-Aware-Cord (Gustafsson & Gyllenswärd, 2005), the Mona Lisa bookshelf (Nakajima & Kawsar, 2012), and the HistoTree (Coutaz et al. 2018) are typical examples of ambient feedback. Informative Art (Ferscha, 2007) is one technique that is used frequently for this type of persuasive systems.
- **Aesthetic:** as people tend to pay more attention to attractive appearance, aesthetics is becoming an important factor in the design of feedback systems. Fish’n Steps (Lin *et al.*, 2006) and the Mondrian weather tiles (Holmquist & Skog, 2003) use this approach.
- **Emotionally engaging:** evoking emotions is an effective approach to promote successful behavior change (Pinder *et al.*, 2018). In particular, (Dillahunt et al, 2008) and (Lin *et al.*, 2006) have used emotional incentives to encourage people.
- **Metaphorical:** metaphors have been used in many studies to enhance user’s comprehension and to raise user’s interest and curiosity. Some examples of metaphor interfaces include the virtual tree (Ko *et al.*, 2007), (Nakajima *et al.*, 2008), the virtual garden (Consolvo *et al.*, 2008), the virtual apple tree in Ubigreen (Froehlich *et al.*, 2009), the virtual island (Shiraishi *et al.*, 2009) and the polar bear (Dillahunt et al, 2008).

Although specific and strictly centered on the visual design of feedback, Fang’s design space shows that motivation can be sustained in multiple ways, typically by evoking

emotions and by using aesthetics. This approach strongly relates to the informative art research field (Redström *et al.*, 2000; Holmquist & Skog, 2003; Ferscha, 2007).

2.4 Froehlich's comparative survey of eco-feedback systems

Froehlich (Froehlich *et al.*, 2010) conducted a comparative survey of 133 scientific publications from Environmental Psychology and Human-Computer Interaction (HCI). In this study, they classified eco-feedback systems in terms of persuasive techniques that promote pro-environmental behavior. Feedback is one of the techniques proposed:

- **Information:** information is essential and is the very first vector to inform and to promote concerns for pro-environmental issues. As mentioned above in 3.2, the presentation and the location of information play a significant role to inspire successful behavior change.
- **Goal-Setting:** considered as an effective source of motivation, goal-setting is a means to engage an individual (or a group of persons) towards a particular direction but also to compare performance with past or future goals. Goal-setting is effective when combined with feedback.
- **Comparison:** this dimension is the same as in Froehlich's Design Space discussed above (Froehlich, 2009). Social networks constitute a good approach to support social comparison.
- **Incentive/Disincentives** and **Rewards/Penalties:** "Incentives/Disincentives are antecedent motivation techniques whereas Rewards/Penalties are consequence motivation techniques" (Froehlich *et al.*, 2010). Incentives may be financial. Rewarding mechanisms such as points and medals are inspired from games to trigger positive behaviors.
- **Commitment:** making a commitment to a specified goal enhances engagement towards the goal. A person who previously expressed his/her interest about a specific behavior will likely pursue the targeted behavior. Thus, commitment has the potential to enhance the "persuasive-ness" of an interactive system.
- **Feedback:** considered as a vital factor, feedback can be used in conjunction with other motivation techniques in order to convey information in the most effective way.

Froehlich *et al.*'s classification work provides a notable number of motivational techniques for reducing environmental impact. Although feedback is a key feature for conveying persuasion messages, Froehlich *et al.* recommend designers to use a combination of the dimensions of their design space. However, if we consider behavior change as a multi-stage process, then it is not clear at which stage and how these combinations should take place.

2.5 Motivation affordances and psychological outcomes

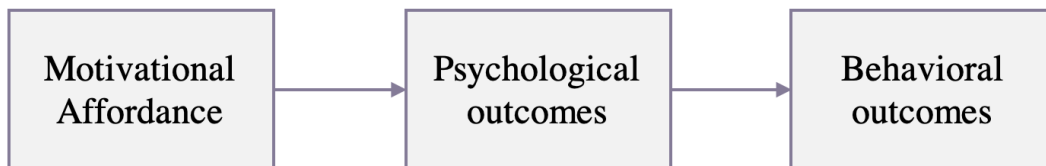
Hamari (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014) reviewed 95 studies related to persuasion, with the purpose of providing an overview of how motivational affordance, psychological outcomes and behavioral outcomes relate in the process of behavior change (see Figure 1):

- **Motivational Affordance:** Zhang defines motivational affordance for Information and Communication Technology (ICT) as "the properties of an object that determine whether and how it can support one motivational need" (Zhang, 2008). The higher the motivational affordance an ICT system has to offer, the more the user's motivation, engagement, and interest will be achieved. For Hamari (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014), motivational affordances are design elements embedded in a persuasive interactive system to raise motivation. For instance, motivation needs can be achieved through visual feedback, ranking or rewards.
- **Psychological outcomes:** when motivational affordances meet individual's motivational needs, it induces psychological effects. Hamari categorized the psychological outcomes of the reviewed studies into eleven groups including awareness, engagement, and enjoyment. For instance, for a persuasive interactive system that aims at promoting

energy conservation, providing feedback about resource consumption can promote user's awareness and decision towards a new goal.

- **Behavioral outcomes:** the psychological impacts in one's mind may shape his/her own ways to move towards a specific behavior. Hamari's classification investigates various types of behavioral outcomes including health/exercise, sustainable consumption, and education/learning.

Figure 1. Hamari's conceptual framing (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014)



As reported by Hamari (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014), virtuous consumption is the second most studied area for persuasive interactive systems. Of the 95 studies reviewed, 20 (21.1%) considered virtuous consumption as behavioral outcome. Tables 1 and 2 present the main motivational affordances and psychological outcomes reported by the study.

Table 1. Motivational affordances (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014)

Frequency	Motivational Affordances
Frequently	Visual or audio feedback Ambient or public displays Social support, comparisons, feedback, interaction, sharing Rewards, credits, points, achievements Objectives and goals Competitions, leaderboards, ranking
Rarely	Social agents Emoticons and expressions Persuasive messages and reminders Suggestions, advice Tracking Subliminal persuasion
Not used	Progress Video-based persuasion Positive reinforcement

According to Hamari, for ecology-related systems, the most often implemented affordances are visual and audio feedback, social features, ambient/public representations and rewards. Most studies feature objectives and goals. Competition is also found to be among the popular implementations. This review shares similar results with the design spaces reported above (Pierce *et al.*, 2008; Froehlich, 2009; Fang & Hsu, 2010; Froehlich *et al.*, 2010).

Table 2. Psychological outcomes (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014)

Frequency	Psychological outcomes
Usually	Awareness
Frequently	Motivation Engagement, encouragement
Rarely	Enjoyment, "fun"

	Negative attributes
Not used	Attitude Self-efficacy Trust, credibility Commitment Sense of community Adherence

In terms of psychological impact, raising awareness about current consumption seems to be the dominant outcome. This is consistent with Laurillau et al.'s observation (Laurillau et al., 2016). Motivation and engagement are used frequently, and a number of studies are also concerned with enjoyment and the negative attributes of persuasive systems. Psychological impact as well as motivational elements, are important factors that deserve deeper analysis.

2.6 Cano's Design Space

Cano et al. (Cano et al., 2015) present a critical analysis of 10 persuasive systems dedicated to energy. In their survey, they propose a design space composed of 6 dimensions. As Table 3 shows, these dimensions include the application domains covered by a persuasive interactive system, persuasion functions, data representation, user-system interaction, scales and devices. Some dimensions are refined into sub-dimensions.

Table 3. Cano's six dimensions design space (Cano et al., 2015).

Concerns	Possible values
Domains	Energy, etc.
Persuasion functions	Mirror (details of appliances, feedback, history, comparison) What-if (future projection, simulation payment) Explain What-for Recommend Suggest-and-Adjust
Representation	Textual, Realistic, Symbolic, Artistic, Quantitative
Interaction	Multi-Device Management History navigation Annotations Gamification Objectives, Goals Personalization
Scales	Time (past, present, future) Space (room, house, neighborhood) Human (individual, family, community)
Devices	Smartphone, tablet, PC, web application, ambient

Although the domain dimension is intended to cover any domain, Cano's design space has been applied to energy consumption only. In turn, a persuasive function may belong to one of the following classes:

- **Mirror.** This class of functions makes observable the current users' behaviors in terms of energy consumption. For instance, an implementation could be a visualization of energy consumption on a per appliance basis.
- **What-if.** This class of functions allows users to simulate a possible future behavior and to observe the consequences. The goal is to provide users with a means to explore and

experiment various possible behaviors in order to identify a feasible and appropriate future behavior.

- **Explain.** This class of functions aims at explaining, enlightening users and making them understand, not only the effects but also the causes of their current behaviors.
- **What-for.** This class of functions aims at guiding users towards the achievement of their objectives. It allows the selection of a desirable effect and to explore the actions to be achieved to obtain this effect.
- **Recommend.** This class of functions aims at providing users with the appropriate recommendations and suggestions based on the user-context to promote and support behavior change.
- **Suggest-and-Adjust.** This class of functions aims at facilitating the decision-making process through a user/system negotiation approach. For instance, the system may suggest situations, then adjust them based on user's responses.

The third dimension deals with the types of information representation: textual, realistic, symbolic, artistic, and quantitative. It echoes the design spaces discussed above (e.g. Fang's design space (Fang & Hsu, 2010)). The fourth dimension is concerned with user-system interaction as a way to convey persuasion. This dimension is original compared to the design spaces discussed above. For instance, providing interactivity to support the exploration of past consumptions is a means to implement Mirror and Explain persuasive functions. The fifth dimension is concerned with information scale. It echoes the data granularity found in Froehlich's work (Froehlich *et al.*, 2010). Finally, the sixth dimension corresponds to the devices used for interacting and for conveying the persuasive features.

The analysis of Cano's design space reveals some interesting insights about persuasive interactive systems for energy. First, the Mirror function is used in most existing persuasive systems. This finding is consistent with other results from the literature (Froehlich *et al.*, 2010; Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014; Laurillau *et al.*, 2016). By contrast, the What-for function is absent from the other conceptual tools. Second, despite being widely used, the quantitative/numerical/symbolic representations are not always considered as appropriate ways to induce behavior change. Finally, Cano's design space brings interactivity to the fore. We believe that, in addition to traditional interaction/navigation techniques, it is worth considering new interactive techniques for supporting persuasion.

2.7 SEPIA framework

SEPIA adopts an engineering perspective, making it explicit the properties that a system should satisfy to support persuasion via human-system interaction (Laurillau *et al.*, 2016).

Table 4. SEPIA design space.

Properties		Phenomenon		
Classes		Effect	Cause	Causality
Doing-related properties	Maintainability	Benefit	Sustain	Reward
	Accountability	Target	Engage	Control
	Protectability	Alert	Prevent	Anticipate
Understanding-related properties	Learnability	Induce	Deduce	Experiment
	Intelligibility	Situate	Recommend	Explain
	Observability	Reveal	Reflect	Discover

Inspired by the properties used to qualify user interfaces (i.e. observability), SEPIA propose six persuasion-oriented properties organized as two sets: the properties related to

action – the doing related-properties, and the properties that support understanding – the understanding-related properties (see Table 4). These properties are: Observability, Intelligibility, Learnability, Protectability, Accountability and Maintainability. Each property is considered through the prism of a phenomenon characterized in terms of cause, effect, and causality. Consequently, as shown in Table 4, SEPIA proposes 18 classes of interactive functions that support persuasive-ness.

Observability. This set of user interface (UI) properties aims at making users aware of their behavior:

- **Reveal.** Making visible the effects of the user's current behavior related to the phenomenon under study.
- **Reflect.** Making human activity visible.
- **Discover.** Making visible the relationship between the causes of a behavior and its effects.

Intelligibility. This set of UI properties aims at better understanding the reasons of current behaviors:

- **Situate.** Making sense of the current behavior effects by providing means to compare with others, and putting the current situation into context.
- **Recommend.** Suggesting appropriate situations to reach a desired behavior.
- **Explain.** Explaining the relationship between the causes and its consequences (effects).

Learnability. This set of UI properties aims at allowing users to discover and learn new behaviors:

- **Induce.** Based on a system provided simulation engine, this function aims at helping users to identify the suitable behaviors that should lead to the defined goals.
- **Deduce.** Based on a system provided simulation engine, this function aims at helping users to identify the possible effects of a defined behavior.
- **Experiment.** Facilitating the induce/deduce iteration. This function allows users to find the compromise between their desired goals and behaviors.

Protectability. This set of UI properties aims at protecting users from undesired behaviors and/or contexts:

- **Alert.** This function alerts users of an actual undesired situation (effects).
- **Prevent.** This function prevents users from undesired behaviors (causes).
- **Anticipate.** This function anticipates the potential causes that could produce undesired situations and helps users to avoid such situations.

Accountability. This set of properties aims at engaging users in the achievement of new behaviors:

- **Target.** This function helps users to identify and set goals towards a new behavior.
- **Engage.** This function engages the user in an action loop to achieve the new behavior (i.e., notification mechanism).
- **Control.** This function controls the causes and effects in a way that balances user's actual behaviors and desired outcomes.

Maintainability. This set of properties aims at maintaining behavior change over time:

- **Benefit.** Making users aware of the effects either desired or undesired in the future.
- **Sustain** Making users aware of the behaviors that could lead to undesired/desired outcomes in the future.
- **Reward.** This function rewards users of either obtaining desired outcomes (effects) or avoiding unwanted behaviors (causes).

Table 5. Characterization of 10 studies with SEPIA framework.

Properties / Phenomenon		Effect	Cause	Causality
Doing-related properties (3)	Maintainability (1)	Benefit	Sustain	Reward
	Accountability (3)	Target	Engage	Control
	Protectability (0)	Alert	Prevent	Anticipate
Understanding-related properties (10)	Learnability (3)	Induce	Deduce	Experiment
	Intelligibility (5)	Situate	Recommend	Explain
	Observability (10)	Reveal	Reflect	Discover

The evaluation power of SEPIA has been assessed with ten energy-related persuasive systems (Laurillau *et al.*, 2016). As Table 5 shows, all 10 systems satisfy the “understanding-related” properties. In other words, these systems aim at making users aware of their current behavior as well as helping them to understand the consequences of their behavior. Three (out of ten) provide some means to learn new behaviors. However, these systems do not engage users to achieve new behaviors. If we refer to the TTM behavior change process model (Prochaska *et al.*, 1992; Prochaska & Velicer, 1997), most current systems target precontemplation and contemplation stages. In addition, designers mostly explore the effects of user’s behavior, but less the causes nor the causality of their behavior. The SEPIA framework provides a worthy foundation that has been explored further for our framework UP+.

2.8 Persuasive Interactive Systems: Corpus of Classification

Daniel *et al.* (Daniel *et al.*, 2016) classified 44 existing persuasive systems dedicated to energy using 15 criteria organized into four classes: the system, the user interface, the user, and the context. Interestingly, some of these criteria explicitly address the process aspects of behavior change using the TTM five stages as a structuring basis (Prochaska *et al.*, 1992; Prochaska & Velicer, 1997). In addition, nine persuasion and eight gamification functions are examined. The persuasion functions are: Prediction, Suggestion, Evaluation, Simulation, Immediate Feedback, Cumulative Feedback, Temporal Comparison, Spatial Comparison and Social Comparison. In terms of gamification functions, Challenge, Competition, Collaboration, Progression, Social Interaction, Personalization, Reward and Achievement appear to be key.

None of the 44 persuasive systems covers all the stages of the behavior change process. Surprisingly, all these systems provide functions for maintaining motivation. However, only half of them covers the precontemplation stage and a quarter covers the preparation stage. As expected, most of these systems offer feedback as a persuasive function. The comparison functions are worth considered as they are implemented by half of the systems. However, little seems to address prediction, suggestion, and simulation. Moreover, Daniel’s study reveals that the user interfaces are primarily mobile devices or ambient representations. The author suggests to make “graphical and ambient interfaces coexist and complement each other” (Daniel *et al.*, 2016) by combining their different functions, to cover all the stages of TTM.

This work provides a significant overview of current research in persuasive interactive systems, in particular for energy. However, we observe some inconsistencies between the results of this classification and that of others. For instance, Laurillau’s and Cano’s studies (Laurillau *et al.*, 2016; Cano *et al.*, 2015) have shown the lack of support for the TTM’s maintenance stage, although, according to Daniel *et al.* (Daniel *et al.*, 2016), all the systems they studied claimed to support the maintenance stage.

3 CARTOGRAPHY OF CLASSIFICATIONS FOR PERSUASIVE SYSTEMS

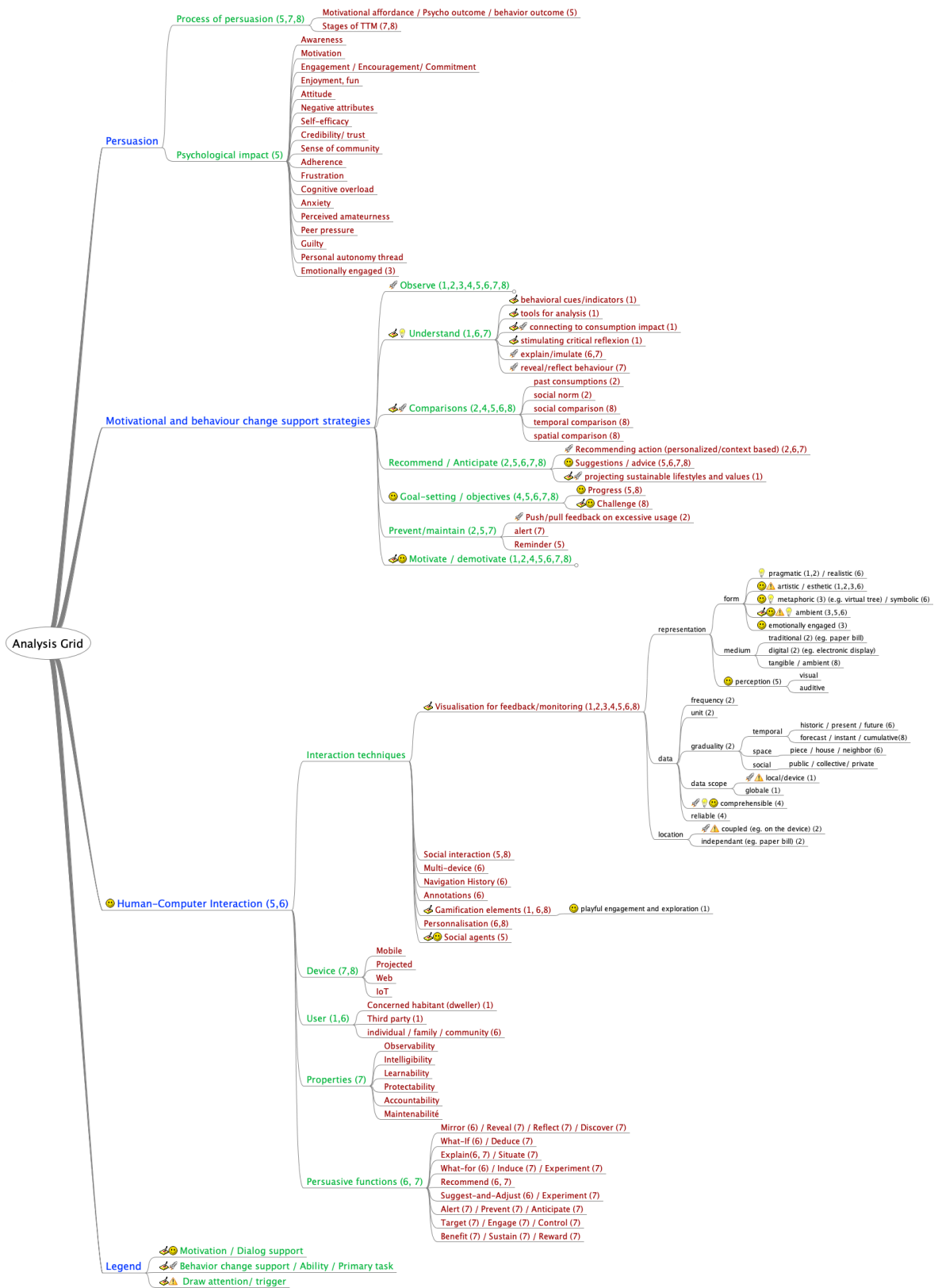
The representative classifications discussed above differ in terms of focus: some of them bring feedback to the fore (i.e. eco-feedback) while others such as Hamari's work, address the perception of motivation (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014). Most of them overlap and most of them share a lack of concerns for the HCI aspects of persuasion: either HCI properties are secondary or they are implicit. Here, we propose a cartography that brings together the classifications analyzed in Part 2 into a coherent analytical grid.

3.1 Method and graphical meta-classification

For the definition of our grid, we first identified three top-level categories: (1) Persuasion *per se* in terms of process of change and psychological impact; (2) Strategies to support motivational and behavioral changes; and (3) HCI features related to persuasion. Then, we filled each category with the criteria used by our reference set of classifications. Criteria shared by several classifications are annotated with a number (i.e. the last digit of the corresponding section number of Part 2). We reused the terminology of our reference classifications as much as possible to denote groups of criteria. Otherwise, we chose a category's name semantically close to that of the group. In addition, we annotated the criteria with the following generic aspects of persuasion: (1) motivation and related psychological factors; (2) behavioral change support; (3) attention stimulation (i.e. triggers). The result of this process is a meta-classification represented graphically in Figure 2.

As Figure 2 shows, the top-level branches correspond to the three top-level categories. Nodes are tagged with icons whose legend is made explicit as a fourth branch of the graphics: a smiley denotes a node related to motivation (i.e. a motivational affordance or a psychological outcome); a rocket indicates that a node is related to behavior support; a warning sign is used for a node related to attention stimulation and a light bulb indicates that a node is related to understanding.

Figure 2. Analysis grid of the eight representative studies, the numbers in the brackets refer to the subsection index in Part 2 (i.e. number 2 for section 2.2). Icons represent the effects in terms of motivation, ability, etc.



3.2 Analysis

In this section, we discuss how the eight representative classifications of Part 2 cover each of the three top-level categories.

Persuasion. This branch is in turn decomposed into two sub-branches, the first one to cover the persuasion process, the second one to account for the psychological impacts of persuasion. Hamari et al.'s classification (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014) is the only proposal that addresses the psychological aspects of persuasion as a three-step conceptual process: motivational affordance, psychological outcome and behavior outcome. They have identified several psychological outcomes (awareness, enjoyment, engagement, commitment, etc.) represented under "Psychological impact" in Figure 2. Whereas Hamari et al. use a three-stage psychological process, Daniel's study (Daniel et al., 2016) and SEPIA (Laurillau et al., 2016), both use the five-stage process of the Transtheoretical Model. As highlighted by Pinder et al. (Pinder et al., 2018), "behavior change is a long-term process". Consequently, they advocate tailored persuasive interactive systems designed for long-term user interaction. In other words, the process dimension is key.

Motivational and behavior change support strategies. Although all of our selected classifications promote either motivational strategies (e.g. incentives and rewards) or behavior change support strategies (e.g., comparison and objectives setting), most of them promote techniques that combine motivational strategies with behavior change strategies indistinctly. For instance, tracking (i.e. capturing the consequences of a behavior) is a motivational affordance for Hamari et al. (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014). As another example, goal setting (e.g. planning a behavior change) is a source of motivation for Froelich et al. (Froelich et al., 2010). Consequently, no classification clearly distinguishes motivational strategies from behavior support strategies as stressed in the PSD model (Oinas-Kukkonen & Harjuma, 2009) (PSD's primary task support is related to behavior change support strategies while dialog support is related to motivational strategies). Although SEPIA does not consider motivational strategies clearly, SEPIA (Laurillau et al., 2016) and Daniel's work (Daniel et al., 2016) are two classifications that explicitly consider behavior change strategies based on the Transtheoretical Model of behavior change. With regard to behavior change support strategies, only a small set of classifications considers strategies to explain a behavior so that people can understand the consequences of this behavior (cause-effect-causality). The same holds for strategies to maintain change over time.

Human-Computer Interaction. Among the interaction techniques used to support persuasion, feedback and eco-feedback are the most prevalent and investigated approaches to reduce energy consumption. In particular, most classifications restrict persuasive user interaction to data visualization. By contrast, gamification is mostly considered as motivational although it has an impact on user interaction. In the same vein as Cano et al.'s work (Cano et al., 2015) and SEPIA (Laurillau et al., 2016), we advocate fostering persuasion in terms of HCI. This is addressed by the UP+ framework presented next.

4 THE UP+ FRAMEWORK

UP+ is intended to serve as an analytic tool for the state-of-the-art in existing persuasive interactive systems for energy as well as a conceptual tool for structuring the exploration of the design space for the development of future persuasive interactive systems. Compared to the classifications discussed above, UP+ focuses on the engineering aspects of HCI for persuasive interactive systems. It builds on the key features of UP (Laurillau et al., 2018) and of SEPIA (Laurillau et al., 2016).

Basically, UP+ covers the behavior change process as modeled in TTM (Prochaska et al., 1992; Prochaska & Velicer, 1997)) as well as the psychological aspects of persuasion. In turn, the behavior change process and the psychological aspects are addressed according to three dimensions:

- User-system interaction to support behavior change in the long term, or macro level support, based on the TTM stages.
- Phenomenon-based user-system interaction described in terms of “cause-effect-causality” to support behavior change in the short term, or micro level support,
- Psychological affordances and outcomes through user-system interaction.

As these three dimensions are independent, they can be combined in multiple ways where a combination defines a class of functions that designers should consider when developing a persuasive interactive system. As a practical tool for system designers, UP+ makes these classes of functions explicit in a “macro-level X micro level” matrix. Table 6 shows the principles of this matrix where the cells will be exemplified through sections 5.2 to 5.3. In 5.1, we show how Norman’s theory of action, which is familiar to HCI specialists, can be reconciled with the process-oriented Habit Alteration Model developed for persuasive systems. This mapping is used in UP+ to show in section 5.4 how principles from HCI such as affordances relate to persuasive principles such as outcomes.

Table 6. The UP+ principled matrix

		Macro-level – long term			
		Pré-contemplation Contemplation	Planning	Action	Maintenance
		Enlightener	Recommender	Facilitator	Protector
Micro-level – short term	Cause (behavior)	Understand => Decide => Act => Maintain			
	Effect (situation)				
	Causality				

4.1 Norman’s theory of Action and the Habit Alteration Model reconciled

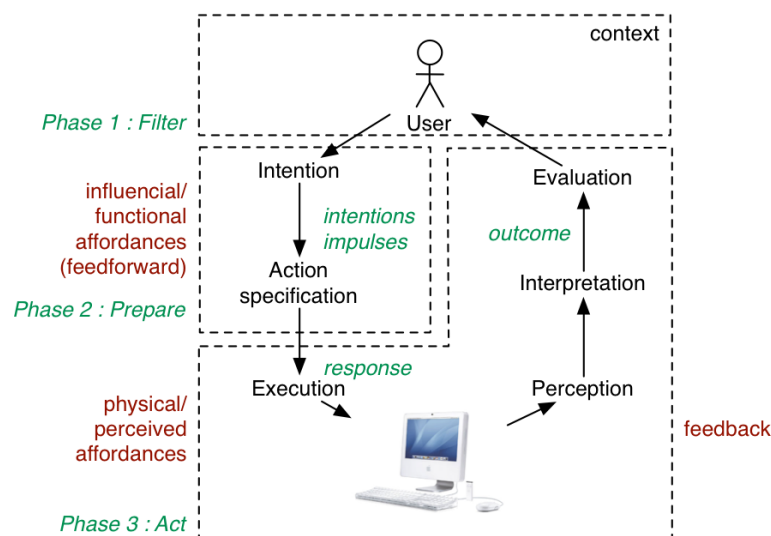
In his seminal work on cognitive engineering, Norman has suggested as an approximate theory of action, that the performance of a task with an interactive system may involve seven stages: from goal formation, a user has to form an intention, then to specify and execute an action plan to go through the gulf of execution, followed by the perception, interpretation, and evaluation of the system state to go through the gulf of evaluation. All, or a subset of these stages, are repeated in this order, or not, until the goal is reached. One important take away from Norman’s model is that these stages define intervention points that designers should consider when developing an interactive system. The same should apply for persuasive interactive systems.

Similarly, the Habit Alteration Model (HAM) is based on a stage process model to explain and describe habit formation and habit disruption (Pinder *et al.*, 2018). As shown at the top of Figure 3, the process starts with the user in context. In HAM, context is defined as a set of “internal cues” such as mood and physiological state, and of “external cues” such as the physical location and social state of the environment. A subset of these cues is acquired through the filter stage to give rise to impulses and/or intentions to act in the Prepare phase. Impulses can be goal-response links learnt from sufficient repetitions in a stable context, or simply instinctive behavior. By contrast with impulses, intentions are formed consciously, requiring explicit cognitive resources. As shown in Figure 3, the Prepare stage covers Norman’s Intention and Action specification stages. The HAM Act stage includes Norman’s execution of action(s) called behavioral response in HAM as well as outcome such as changes in the environment or rewards. Response and outcome both feed back into the model.

Whereas Norman's stages involve an implicit single cognitive process, HAM uses the Dual Process Theory. This theory stipulates that behavior results from the interplay between two systems: System1 – non-conscious, fast and automatic, and System2 – conscious, slow, and rational, requiring explicit cognitive resources. In HAM, the three-stage “filter-prepare-act” process applies to the two systems that operate in parallel, mutually influencing each other to explain or predict behavioral responses to input cues.

UP+ uses the reconciled HAM-Norman's theory for covering short-term, micro-level, phenomenon-based behavioral changes through user-system interaction, and uses the Transtheoretical model (TTM) for covering long-term, macro-level, behavioral changes. This is detailed next.

Figure 3. Norman's theory of action and HAM reconciled (color green denotes HAM concepts; red denotes UP+ concepts).



4.2 Long-term user-system interaction: Enlighten, Recommend, Facilitate and Protect

According to TTM, behavior change is a multi-stage process (Prochaska *et al.*, 1992; Prochaska & Velicer, 1997):

- in the precontemplation and contemplation stages, people understand the situation that results from their behavior,
- next, in the preparation stage the individual decides to target a different behavior,
- followed by the action stage where the individual acts consequently to reach this new behavior,
- then making efforts to protect themselves from unwanted behaviors in the maintenance stage.

As a practical tool for system designers, UP+ maps the 4 human-centered cognitive stages identified by TTM into 4 classes of system functions to support users in going through the main stages of the behavior change process: *enlighten* for helping users to understand, *recommend* for encouraging decision making, and *protect* to facilitate positive actions and to avoid negative behavior.

Enlighten. This set of interactive functions aims at *making observable* people's current behavior and at *making intelligible* its determinants, notably the contextual cues that triggered this behavior. Enlighten echoes the first stages of TTM in which people, at the precontemplation stage, have to understand their current behavior to move to the

contemplation stage. For the latter, people need to understand the pros and the cons of their current behavior to decide for a change. Similarly, Pinder et al. (Pinder *et al.*, 2018) underline the importance of raising awareness about System1 undesired habits that are unconscious in order to move towards System2 consciously desirable new behaviors. Social influence and cognitive dissonance are often used to raise people awareness about their own behavior. Monitoring and self-monitoring can be recruited as well (Fogg, 2002) (Oinas-Kukkonen & Harjumaa, 2009) as they both aim at helping individuals to self-reflect the situation: the identification of the causes and their explanation can raise the individual's ability and confidence in self when they often lack knowledge about the problem, thus provoking a sense of personal control and belief in self. The fact that individuals fully understand their current behavior (not only the effects) can motivate them to decide to change. The reference classifications presented in Part 2, mostly promote feedback to make behavior observable based on interactive visualization techniques. To support intelligibility, Pierce et al. (Pierce *et al.*, 2008) recommend strategies that "provide tools for analysis" and that "stimulate critical reflection". Comparison is another strategy to make behavior intelligible using multiple socio-spatio-temporal representations.

Recommend. This set of interactive functions aims at supporting decision making, and at preparing people for a change. It corresponds to the preparation stage of TTM in which people build action plans such as the "baby steps" observed by Fogg. At this stage, it is desirable to encourage people to develop a plan that leads them to their first concrete actions towards change. Suggestion and simulation are typical strategies (Fogg, 2002; Oinas-Kukkonen & Harjumaa, 2009) to support decision making. Recommending actions or providing generic advice are two of the strategies uncovered by Froehlich et al. (Froehlich, 2009) and by Hamari et al. (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014), including simulation through "projecting and cultivating sustainable lifestyles and values" (Pierce *et al.*, 2008).

Facilitate. This set of interactive functions aims at helping users to facilitate their commitment to achieve a new and desired behavior, and to support the achievement of their action plan over time. It echoes the action stage of TTM. It is also related to Fogg's principles – persuasion as a tool (Fogg, 2002) and to the PSD model – primary task support (Oinas-Kukkonen & Harjumaa, 2009). Setting goals is the most common strategies to support this stage (Froehlich *et al.*, 2010; Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014; Cano *et al.*, 2015). Although goal setting is an effective strategy for this stage, external psychological factors such as the sense of community and adherence can also be recruited. In addition, positive reinforcement (compliment, rewards, etc.) can be used to stimulate intrinsic motivation and satisfaction.

Protect. This set of interactive functions aims at keeping users within the process – to stay motivated, at protecting them from giving up as well as to alert them when moving away from the desired behavior. Protect corresponds to the maintenance stage of TTM. According to Fogg's principles and to the PSD model, reward is a means to sustain behavior change. The reference classifications of Part 2 suggest many strategies related to rewarding. However, only few of them such as Froehlich's "Push/pull feedback on excessive usage" consider prevention (Froehlich, 2009).

In conformity with Oinas-Kukkonen et al.'s postulate, we strongly believe that behavior change is a process and that the stages of this process are iterative and incremental (Oinas-Kukkonen & Harjumaa, 2009). This is backed up by Pinder et al. who stipulate that in order to build a new habit, the desired behavior must go through a cycle that is repeated sufficiently in stable contexts to become a new habit (Pinder *et al.*, 2018). As a result, a persuasive interactive system should be designed to operationalize this macro process of behavior change. In addition, we claim that the user interface should adapt its content as well as the user interaction depending on the current stage in order to bring forward the relevant features, to maximize the persuasive effect and to keep the user in the process of change over time.

Having identified functions to support behavioral changes through long-term user-system interaction (enlighten, recommend, facilitate, and protect), we need now to explore behavioral change at the short-term user-system interaction level.

4.3 Short-term user-system interaction: the Phenomenon dimension as Cause, Effect, and Causality

The second dimension phenomenon-oriented of UP+ is concerned with the micro level short-term behavior in terms of cause, effect and causality. According to the Oxford dictionary, a phenomenon is defined as "a fact or situation that is observed to exist or happen, esp. one whose cause or explanation is in question". For users to understand a particular behavior and for supporting the achievement of new behaviors, not only the effect that results from their behavior should be observable and explained, but also the causes as well as the causality (i.e. the relationship cause-effect) should be made observable and explained. This is fully in line with the primary task support principles of the PSD model as well as with Fogg's "cause and effect" principle. However, as highlighted in Part 2, the reference classifications focus primarily on the effects, not on the causes, even less on causalities. We therefore consider the necessity for exploring the cause-effect-causality process. We believe that, in order to decide to change, individuals not only need to observe the effects (environmental, financial, etc.) but also to understand how and why these consequences occurred. Observing and understanding cause-effect-causality happen performed through user-system interaction. We draw on the reconciled HAM-Norman's theory of action of Figure 3 to analyze how user-system interaction supports the observation and understanding of cause-effect-causality.

As shown in Figure 3, a particular behavior is a set of actions/responses, the causes of this behavior are intentions or impulses as well as the internal and external contextual cues that are the determinants of these intentions and impulses. The consequences of the behavior are conveyed through system feedback, which in turn is perceived and interpreted as an outcome, which is then evaluated. Then, causality is the relationship between the top-down part and the bottom-up part of this micro process. In HCI, the challenge for the system designer is to minimize the cognitive effort that users need to recruit to go through each stage of the top-down and bottom-up parts of the process. Higher is the cognitive effort, larger are the gulf of execution and the gulf of evaluation, lesser is the goal to be reached successfully. This gap metaphor introduced by Norman applies to persuasive interactive systems as well.

Persuasive strategies such as tunneling and reduction, are "primary task support" principles (PSD model (Oinas-Kukkonen & Harjumaa, 2009)) that aim at facilitating the achievement of a behavior. In addition to SEPIA (Laurillau *et al.*, 2016) and Cano *et al.*'s work (Cano *et al.*, 2015), Pierce *et al.* (Pierce *et al.*, 2008) recommend strategies that consist of "offering behavioral cues and indicators", "connecting behavior to material impacts of consumption", and "projecting and cultivating sustainable lifestyles and values". Froehlich indirectly considers cause/effect in terms of incentives/disincentives and rewards/penalties (Froehlich *et al.*, 2010).

By reconciling Norman's theory of action with HAM, we are able to identify intervention points for "motivational", by extension for psychological, affordances and outcomes. This is the third dimension of UP+ discussed in following section.

4.4 Psychological impact: motivational affordances and psychological outcomes

The third dimension of UP+, psychological impact, is orthogonal and complementary to the two dimensions corresponding to the long-term-macro and short-term-micro levels of user-system interaction. Instead of using the term "motivation", we prefer to reason in terms of psychological impact. Persuasion first affects attitude and then behavior. In psychology, attitude has three components: cognitive (thoughts or beliefs about someone or something),

affective (feelings, emotions), and conative (inclination to act), and motivation has multiple sources: physiological, emotional, cognitive and social (Bernstein *et al.*, 2018). Our reference classifications mostly consider strategies related to the conative as well as to the social components of attitude. Some of them consider emotions and feelings by the way of artistic feedback (e.g., (Pierce *et al.*, 2008; Froehlich, 2009; Fang & Hsu, 2010)), or of playfulness through gamification (e.g., (Pierce *et al.*, 2008; Daniel *et al.*, 2016)).

As illustrated in Figure 3, user-system interaction may be designed to have a psychological impact in terms of affordance, feedback, and context. In HCI, affordance plays a role in intention forming and execution. A well-designed user-system interaction with the right affordance reduces the gulf of execution (functional affordance for intention forming, and physical affordance for action execution). Similarly, an effective persuasive user interaction requires the right motivational affordance (e.g., playfulness through gamification, social comparison). As well, to reduce the gulf of evaluation, feedback should be carefully designed to provide understandable messages. Similarly, an effective persuasive user-system interaction requires delivering the right psychological outcome (e.g., reward, greetings). Finally, as underlined by Pinder *et al.* (Pinder *et al.*, 2018), context plays a key role in persuasion. As a result, the user-system interaction of a persuasive interactive system should dynamically adapt to the context of use as developed by Calvary *et al.* for user Interface plasticity (Calvary *et al.*, 2003).

4.5 Classes of interactive persuasive functions

Table 7. UP+ exemplified with persuasive classes of functions

User System Phenomenon	Understand	Decide	Act	Protect
	<i>Enlightener</i>	<i>Recommender</i>	<i>Facilitator</i>	<i>Protector</i>
Cause (Behavior)	Reflect behavior	Recommend actions	Engage	Prevent
Effect (Situation)	Reveal situation	Suggest situation	React	Alert
Causality	Explain	Simulate	Manage	Anticipate

By crossing the first two dimensions “macro x micro processes” of behavior change, UP+ invites the designer to investigate cause-effect-causality for each of the macro roles a persuasive interactive system may play. This role may be that of an Enlightener, a Recommender, a Facilitator, and/or a Protector. Table 7 summarizes the core functions where, for each role, we propose classes of functional features for Cause, Effect, and Causality respectively.

4.5.1 Enlightener

The enlightener role provides three classes of functions: “reflect behavior” centered on causes; “reveal situation” centered on effects; and “explain” centered on the causal relationship between cause and effect.

- **Reflect behavior.** Consists of making observable the human activity that causes/caused the phenomenon of interest. For instance, providing objective quantitative indicators such as the consumption average at the country level may help to understand whether one’s behavior is appropriate or not.
- **Reveal situation.** Consists of functions that provide users with access to raw data or to information that are relevant to the current state or reached situation (i.e., the effect) due to user’s activity.

- **Explain.** Consists of functions that explain the causal relationship between human actions and the current system state (i.e. the induced effects). For example, an e-coach developed to guarantee thermal comfort, explains that opening the window of the hall way will reduce the temperature by 2°C in the bedroom in the next two hours (Alzhouri et al., 2018).

4.5.2 Recommender

The recommender role includes three classes of functions: “Recommend actions” centered on causes; “Suggest situation” centered on effects; and “Simulate” centered on causal relationship.

- **Recommend actions.** Consists of recommending alternative behaviors (i.e. causes) suitable for solving the phenomenon of interest.
- **Suggest situation.** Consists of suggesting alternative situations (i.e. effects) that should be reached. For instance, indicating a social norm provides a comparative means that suggests an alternative situation to be reached.
- **Simulate.** Consists of functions that allow users to conduct and iteratively evaluate inductive-deductive cycles in order to identify relevant and desired user-defined behaviors and effects.

4.5.3 Facilitator

The facilitator role covers the following functions: “Engage” centered on causes; “Reward” centered on effects; and “Manage” centered on causal relationship.

- **Engage.** Consists of functions that allow users to engage in a desirable change of behavior.
- **React.** Consists of functions that make the user aware of desirable effects, now or in the future, and that react through rewarding and greetings, for instance.
- **Manage.** Consists of functions that make possible for users to manage the behavior change process in a way that balances actual behaviors with the desired outcomes. Mapping with Fogg’s behavior model, the system may allow the user to plan and to set intermediate motivation and ability levels to reach an intermediate behavior change. A machine learning-based engine could be used to help users with automatic mundane actions while keeping them in control for important rewarding actions.

4.5.4 Protector

The protector role covers: “Prevent” centered on causes; “Alert” centered on effects; and “Anticipate” centered on causal relationship.

- **Prevent.** Functions that prevent users from unwanted behaviors.
- **Alert.** Functions that alert users in case of unwanted consequences compared to a desired goal.
- **Anticipate.** Functions to make the user aware of appropriate (respectively inappropriate) behaviors or of behaviors suitable to become valuable (respectively risky) in the near future. As for “Manage”, machine learning is a good candidate for implementing this class of functions.

4.6 Projecting psychological impact on persuasion functions

In our reference classifications, social influence, gameful experience, and aesthetics have been found to have a strong impact on persuasion (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014; Daniel *et al.*, 2016). In the following, we show how the UP+ classes of persuasive functions – Understand, Decide, Act, and Protect, can take advantage of these psychological factors.

Social influence. Social influence theory has a long history in psychology (Cialdini, 20; French Jr. & Raven, 1959; Friedkin, 1998). PSD (Oinas-Kukkonen & Harjumaa, 2009) dedicates one dimension to social influence. As observed by (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014), social features are widely used in persuasive systems for energy, namely social support, social comparisons, social feedback, social interaction and social sharing. Then, how social influence maps to the UP+ functions classes? Social comparison is used in revealing user's current consumption, which compared with that of others increases user's *understandability* and awareness. As well, social influence may help to drive *action* through settings goals (based on what others are doing) or making observable progress of the change towards a desired behavior. Social incentives, challenges, or leaderboard can also be used to drive *decision* and *action*. Social sharing is another strategy to support *decision* through advice. Software agents acting as social pets can *protect* users from relapse.

Aesthetics. Multiple classifications, in particular the classifications related to eco-feedback, promote aesthetics as a means to improve persuasion through appealing ambient, metaphorical, or symbolic representations. Aesthetics triggers the affective component of attitude (intrinsic motivation): pleasure, beauty, calm, etc. Attractiveness is one of Fogg's design principles (Fogg, 2002). Similarly, Pierce et al. (Pierce et al., 2008) propose aesthetics as one approach to provide alternative and meaningful way to communicate data with users. Users appreciate both artistic metaphors and numerical representations as they complement each other (Froehlich, 2009). Fang (Fang & Hsu, 2010) investigates aesthetics as one dimension of their design space. Consolvo (Consolvo et al., 2009) introduced goals/strategies for promoting everyday behavior change in which aesthetic and abstract/reflective representations happen to be the two key principles for the design of persuasive systems. Attractiveness is a strategy to support awareness (thus to *understand* current behavior) as well as to maintain change over time (thus, to *protect*).

Gameful experience. Gamification has been considered as means to "engage people and enhance positive patterns in using service, such as increasing activity, interaction, or quality and productivity of actions" (Orji et al., 2018). It is believed that persuasive gameful systems are effective tools for motivating behavior change (Orji et al., 2018). Thus, many studies have featured gamification functions into the design of persuasive systems. In particular, Daniel (Daniel et al., 2016) proposes the following seven functions: challenge, competition, collaboration, progression, reward, achievement, personalization, and social interaction. Orji (Orji et al., 2018) chooses to investigate ten persuasive strategies often employed in gameful systems. Tondello (Tondello et al., 2017) presents a novel model of eight groups of gameful elements into three categories: individual motivations, external motivations and social motivations. It conveys playfulness, enjoyment, and social interactions. These features support *action* (goal setting, challenges, rewards, greetings, etc.) and *prevent* relapse (social inclusion). Virtual reality-based simulator may be considered as a gameful experience and often used to fight fear when it comes to *act* in the real world.

Other psychological factors. The cartography of Figure 2 shows additional psychological factors such as trust and credibility. Although trust and credibility are important psychological factors (cf. PSD), Hamari et al. (Hamari, Koivisto & Pakkanen, 2014) have not found any persuasive interactive system that addressed these factors. Cognitive overload is another factor. Typically, reminders, which support *Act* and *Protect*, are means to reduce cognitive overload. Some classifications target the cognitive component to make feedback *understandable* using pragmatic representations (Froehlich et al., 2010). As well, behavioral cues (*Understand*) and the projection of sustainable lifestyles (*Decide*) also trigger the cognitive component of attitude.

5 CONCLUSION

5.1 Summary of our contributions: a cartography of classifications for persuasion, and UP+

We have presented and analyzed eight classifications for persuasive interactive systems that are representative of the state of the art. We have noted a diversity of concerns as well as some conceptual complementarity and terminological overlaps. Most of these previous works ignore the process nature of behavioral change, and psychological factors are mostly limited to the conative component of attitude. Crucially, interaction is not considered as a key component for persuasion, as interaction is limited to feedback visualization techniques. To synthesize the state of the art, we have proposed a *cartography* that brings together these classifications into a coherent grid where human computer interaction is a first class component along with persuasion *per se* decomposed into behavior change process and psychological impact, and with *strategies* to support behavior change.

Building on this cartography as well as on our own previous work on persuasive technologies – UP (Laurillau *et al.*, 2018) and SEPIA (Laurillau *et al.*, 2016), we propose *UP+*, a new process-oriented framework that offers a structured set of interactive and persuasive functions that system designers may, or should, consider for the development of persuasive interactive systems. This set is organized as a “4-column x 3-line” matrix where the columns (understand, decide, act, and protect) reflect behavioral change as *stages of a long-term macro-process*, and where the lines (cause, effect, and causality) reflect behavioral changes as a phenomenon-oriented, *short-term micro-process*. Additionally, a third dimension, *psychological impact*, makes it explicit how these functions can be enriched with factors such as social influence, aesthetics, and gamification.

UP+ can be used as a generative conceptual tool by designers of persuasive interactive systems. It can also serve as an analytic grid. As a concrete example of analytic use, the e-coach described in (Alzhouri *et al.*, 2018) supports the three micro-steps (cause-effect-causality) for the Understand and Decide stages of the macro-process. It includes a *recommender* that *proposes* an action plan to be performed such as opening and closing windows, and *explains the effects* of these actions on thermal comfort for the next few hours. In addition, through *interaction*, the user can suppress actions from the plan or simply not perform them. The recommender dynamically shows the *consequences* on thermal comfort along with *explanations* why thermal comfort is optimal or not, and *generates a new plan* on demand. On the other hand, psychological factors such as social influence and gamification are absent from the actual implementation.

5.2 Limitations: completeness and refinement of the cartography and UP+

The cartography presented in Part 4 is based on 8 classification works that we have selected for their relevance and their coverage of persuasion issues. It is reasonable to expect the emergence of additional classifications elaborated from a different perspective as that proposed by (Caraban *et al.*, 2019) for classifying nudges. Therefore, our grid should be considered as a basis for further extension and refinement.

The UP+ classes of functions are domain agnostic: **enlighten** for making the user *understand*, **recommend** for helping the user to *decide*, **facilitate** positive *actions* and **protect** from negative behaviors. Although, in general, genericity is desirable, we cannot guarantee that they cover all the functions that are necessary to promote sustainable change. We believe that there might be space for more domain-specific functionalities to inspire behavioral change in context.

Similarly, It is certainly necessary to refine the three psychological factors (social influence, aesthetics, and gameful experience) used in UP+ to enrich the persuasive-ness of functions. For example, Hamari's *et al.* classification includes additional dimensions for

psychological impacts that needs to be considered (Hamari, Koivisto & Sarsa, 2014). The same holds for motivational affordances and psychological outcome.

Although these limitations show room for improvements, the cartography is still useful as a synthesis of a plethora of classifications, and UP+ provides HCI practitioners with a framework that operationalizes the key concepts of persuasion and that they can extend to fit a particular context of use.

6 RÉFÉRENCES

- ▶ [Amr Alzhouri Alyafi](#), [Van Bao Nguyen](#), [Yann Laurillau](#), [Patrick Reignier](#), [Stéphane Ploix](#), [Gaëlle Calvary](#), [Joëlle Coutaz](#), [Monalisa Pal](#), [Jean-Philippe Guilbaud](#). From usable to incentive building energy management systems, *Modeling in Context*, 18(1), 1-30, 2018.
- ▶ Bartram, L. 2015. "Designing challenges and opportunities for eco-feedback in the home" *Personal Visualization and Personal Analytics*. July/August 2015, IEEE Computer Society, 52-62.
- ▶ Bernstein, Douglas A, Julie An Pooley, Lynn Cohen, Bethani Gouldthorp, Stephen Provost, Jacquely Cranney, Pau Smitz, and Mary Fog Russell. 2018. *Psychology*. Australian & New Zealand 2nd edition. South Melbourne, Victoria : Cengage. <https://trove.nla.gov.au/version/242337052>.
- ▶ Calvary, G., Coutaz, J., Thevenin, D., Limbourg, Q., Bouillon, L. and Jean Vanderdonckt. A Unifying reference framework for multi-target user interfaces, *Interacting with Computers*, 15(3), 289-308, 2003.
- ▶ Cano, Grégory, Yann Laurillau, and Gaëlle Calvary. 2015. "Persuasion technologique et Energie : revue critique de l'état de l'art." *Journal d'Interaction Personne-Système* Volume 4, Numéro 1, Numéro Spécial : PISTIL (1): 21.
- ▶ Caraban, Ana, Evangelos Karapanos, Daniel Gonçalves, and Pedro Campos. 2019. 23 Ways to Nudge: A Review of Technology-Mediated Nudging in Human-Computer Interaction. 1–15. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300733>
- ▶ Cialdini, Robert B. 20. *Influence: The Psychology of Persuasion*. Rev. ed., [Nachdr.]. New York, NY: Collins.
- ▶ Consolvo, Sunny, Predrag Klasnja, David W. McDonald, Daniel Avrahami, Jon Froehlich, Louis LeGrand, Ryan Libby, Keith Mosher, and James A. Landay. 2008. "Flowers or a Robot Army?: Encouraging Awareness & Activity with Personal, Mobile Displays." In *Proceedings of the 10th International Conference on Ubiquitous Computing*, 54–63. UbiComp '08. New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/1409635.1409644>.
- ▶ Coutaz, J., Carlesso, A., Bonnefond, N., Balzarini, R., Laurillau, Y., Mandran, N. and Crowley, J.L. 2018. "Will the last one out, please turn off the lights: Promoting energy awareness in public areas of office buildings". *Proc. of the European Conference on Ambient Intelligence*, (Aml2018), Springer Verlag, 20-36.
- ▶ Consolvo, Sunny, David W. McDonald, and James A. Landay. 2009. "Theory-Driven Design Strategies for Technologies That Support Behavior Change in Everyday Life." In *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI 09*, 405. Boston, MA, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1518701.1518766>.
- ▶ Daniel, Maxime, Guillaume Rivière, Nadine Couture, and Stéphane Kreckelbergh. 2016. "An analysis of Persuasive Technologies for Energy Demand Side Management." In *Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, 197–210. *Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine*. <https://doi.org/10.1145/3004107.3004111>.
- ▶ Dillahunt et al. 2008. "Motivating Environmentally Sustainable Behavior Changes with a Virtual Polar Bear." In *Proceedings of the 2008 Workshop on Persuasive Technology and Environmental Sustainability*, 58–62.

- ▶ Fang, Wen-Chieh, and Jane Yung-jen Hsu. 2010. "Design Concerns of Persuasive Feedback System." In Proceedings of the 7th AAAI Conference on Visual Representations and Reasoning, 20–25. AAAIWS'10-07. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2908587.2908591>.
- ▶ Ferscha, Alois. 2007. "Informative Art Display Metaphors." In Universal Access in Human-Computer Interaction. Ambient Interaction, edited by Constantine Stephanidis, 4555:82–92. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73281-5_9.
- ▶ Fogg, B. J. 2002. "Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do." Ubiquity 2002 (December). <https://doi.org/10.1145/764008.763957>.
- ▶ French Jr., John R. P., and Bertram Raven. 1959. "The Bases of Social Power." In Studies in Social Power, 150–67. Oxford, England: Univer. Michigan.
- ▶ Friedkin, Noah E. 1998. A Structural Theory of Social Influence. A Structural Theory of Social Influence. New York, NY, US: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511527524>.
- ▶ Froehlich, Jon. 2009. "Promoting Energy Efficient Behaviors in the Home through Feedback: The Role of Human-Computer Interaction." In HCIC 2009 Winter Workshop, 11.
- ▶ Froehlich, Jon, Tawanna Dillahunt, Predrag Klasnja, Jennifer Mankoff, Sunny Consolvo, Beverly Harrison, and James A. Landay. 2009. "UbiGreen: Investigating a Mobile Tool for Tracking and Supporting Green Transportation Habits." In Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI 09, 1043. Boston, MA, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1518701.1518861>.
- ▶ Froehlich, Jon, Leah Findlater, and James Landay. 2010. "The Design of Eco-Feedback Technology." In Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '10, 1999. Atlanta, Georgia, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1753326.1753629>.
- ▶ Gustafsson, Anton, and Magnus Gyllenswärd. 2005. "The Power-Aware Cord: Energy Awareness through Ambient Information Display." In CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI '05, 1423. Portland, OR, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1056808.1056932>.
- ▶ Hamari, Juho, Jonna Koivisto, and Tuomas Pakkanen. 2014. "Do Persuasive Technologies Persuade? - A Review of Empirical Studies." In Persuasive Technology, edited by Anna Spagnolli, Luca Chittaro, and Luciano Gamberini, 8462:118–36. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07127-5_11.
- ▶ Hamari, Juho, Jonna Koivisto, and Harri Sarsa. 2014. "Does Gamification Work? -- A Literature Review of Empirical Studies on Gamification." In 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences, 3025–34. Waikoloa, HI: IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377>.
- ▶ Holmquist, Lars Erik, and Tobias Skog. 2003. "Informative Art: Information Visualization in Everyday Environments." In Proceedings of the 1st International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australasia and South East Asia, 229–235. GRAPHITE '03. ACM. <https://doi.org/10.1145/604471.604516>.
- ▶ Ko, Ju-chun, Yi-ping Hung, and Hao-hua Chu. 2007. "Mug-Tree: A Playful Mug to Encourage Healthy Habit of Drinking Fluid Regularly." In In the Late Breaking Results (LBR) Session of Proc. UBICOMP 2007.
- ▶ Laurillau, Yann, Gaëlle Calvary, Anthony Foulonneau, and Eric Villain. 2016. "SEPIA, a Support for Engineering Persuasive Interactive Applications: Properties and Functions." In Proceedings of the 8th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems - EICS '16, 217–28. Brussels, Belgium: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2933242.2933264>.
- ▶ Laurillau, Yann, Gaëlle Calvary, and Van Bao Nguyen. 2018. "UP!: Engineering Persuasive Interactive." In Proceedings of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems, 13:1–13:6. EICS '18. New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3220134.3220144>.

- ▶ Lin, James J., Lena Mamykina, Silvia Lindtner, Gregory Delajoux, and Henry B. Strub. 2006. "Fish'n'Steps: Encouraging Physical Activity with an Interactive Computer Game." In *UbiComp 2006: Ubiquitous Computing*, edited by Paul Dourish and Adrian Friday, 261–78. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg.
- ▶ Nakajima, Tatsuo, and Fahim Kawsar. 2012. "Designing Ambient and Personalised Displays to Encourage Healthier Lifestyles." In , 389–407. *Ambient Intelligence and Smart Environments*. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-837-3-389>.
- ▶ Nakajima, Tatsuo, Vili Lehdonvirta, Eiji Tokunaga, and Hiroaki Kimura. 2008. "Reflecting Human Behavior to Motivate Desirable Lifestyle." In *Proceedings of the 7th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, 405–414. DIS '08. New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/1394445.1394489>.
- ▶ Norman, Donald A. 2002. *The Design of Everyday Things*. New York, NY, USA: Basic Books, Inc.
- ▶ Oinas-Kukkonen, Harri, and Marja Harjumaa. 2009. "Persuasive Systems Design: Key Issues, Process Model, and System Features." *Communications of the Association for Information Systems* 24: 18. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.02428>.
- ▶ Orji, Rita, Gustavo F. Tondello, and Lennart E. Nacke. 2018. "Personalizing Persuasive Strategies in Gameful Systems to Gamification User Types." In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18*, 1–14. Montreal QC, Canada: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3173574.3174009>.
- ▶ Pierce, James, William Odom, and Eli Bleviss. 2008. "Energy Aware Dwelling: A Critical Survey of Interaction Design for Eco-Visualizations." In *Proceedings of the 20th Australasian Conference on Computer-Human Interaction Designing for Habitus and Habitat - OZCHI '08*, 1. Cairns, Australia: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1517744.1517746>.
- ▶ Pinder, Charlie, Jo Vermeulen, Benjamin R. Cowan, and Russell Beale. 2018. "Digital Behaviour Change Interventions to Break and Form Habits." *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 25 (3): 1–66. <https://doi.org/10.1145/3196830>.
- ▶ Prochaska, J. O., C. C. DiClemente, and J. C. Norcross. 1992. "In Search of How People Change. Applications to Addictive Behaviors." *The American Psychologist* 47 (9): 1102–14. <https://doi.org/10.3109/10884609309149692>.
- ▶ Prochaska, J. O., and W. F. Velicer. 1997. "The Transtheoretical Model of Health Behavior Change." *American Journal of Health Promotion: AJHP* 12 (1): 38–48. <https://doi.org/10.4278/0890-1171-12.1.38>.
- ▶ Redström, Johan, Tobias Skog, and Lars Hallnäs. 2000. "Informative Art: Using Amplified Artworks as Information Displays." In *Proceedings of DARE 2000 on Designing Augmented Reality Environments - DARE '00*, 103–14. Elsinore, Denmark: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/354666.354677>.
- ▶ Shiraishi, Miyuki, Yasuyuki Washio, Chihiro Takayama, Vili Lehdonvirta, Hiroaki Kimura, and Tatsuo Nakajima. 2009. "Using Individual, Social and Economic Persuasion Techniques to Reduce CO2 Emissions in a Family Setting." In *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, 13:1–13:8. *Persuasive '09*. New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/1541948.1541967>.
- ▶ Tondello, Gustavo F., Alberto Mora, and Lennart E. Nacke. 2017. "Elements of Gameful Design Emerging from User Preferences." In *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play - CHI PLAY '17*, 129–42. Amsterdam, The Netherlands: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3116595.3116627>.
- ▶ Zhang, Ping. 2008. "Motivational Affordances: Fundamental Reasons for ICT Design and Use." SSRN Scholarly Paper ID 2352593. Rochester, NY: Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=2352593>.

7 BIOGRAPHIE



Van Bao NGUYEN

est doctorant au sein du laboratoire d'Informatique de Grenoble. Il prépare actuellement sa thèse sur la conception de systèmes interactifs persuasifs, appliqués au domaine de l'énergie.



Yann Laurillau

est Maître de Conférences HDR en Informatique à l'Université Grenoble Alpes. Ses travaux portent sur l'interaction homme-machine symbiotique appliquée plus spécifiquement aux systèmes multi-utilisateurs, multi-surfaces, incluant l'interaction gestuelle tangible. Son approche porte sur les outils de conception de tels systèmes, autant sur le plan conceptuel que technique. Depuis quelques années, ses recherches portent également sur les systèmes persuasifs.



Gaëlle CALVARY

est professeure en Informatique à Grenoble INP. Ses travaux portent sur la plasticité des Interfaces Homme-Machine (IHM). Son but est de fournir des méthodes, modèles et outils pour soutenir le développement d'IHM plastiques. L'approche qu'elle a le plus explorée est l'Ingénierie Dirigée par les Modèles. Elle défend l'unification des phases de conception, d'exécution et d'évaluation autour de modèles et de transformations de modèles. Elle explore aujourd'hui la plasticité comme levier de persuasion technologique.



Joëlle COUTAZ

est professeure émérite de l'Université Grenoble Alpes et membre de l'équipe Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine qu'elle a créée en 1990 au LIG. Docteur d'état es Sciences Mathématiques (Grenoble, 1988), membre fondateur de l'AFIHM, elle s'est donné comme objectif la promotion de l'IHM en France. En 2007, elle est nommée docteur *Honoris Causa* de l'université de Glasgow et membre de la [SIGCHI Academy](#) de l'ACM. Elle reçoit en 2013 le *Pioneer award* de l'IFIP TC13, et reçoit les insignes de Chevalier de l'Ordre National de la Légion d'Honneur. Ses sujets de recherche : architecture logicielle des systèmes interactifs (modèle PAC), interaction multimodale, plasticité des IHM, intelligence ambiante et habitat intelligent. En 2008, à la demande du CNRS et du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, elle a co-animé avec James Crowley un groupe de travail pour la création en France d'un programme de recherche en Intelligence Ambiante.

L'adaptation pour une persuasion durable

Anthony Foulonneau, Gaëlle Calvary, Eric Villain

► **To cite this version:**

Anthony Foulonneau, Gaëlle Calvary, Eric Villain. L'adaptation pour une persuasion durable. Journal d'Interaction Personne-Système, Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM), 2020, 8 (1), pp.83-103. hal-02429288v2

HAL Id: hal-02429288

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02429288v2>

Submitted on 20 Jan 2021

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.



L'adaptation pour une persuasion durable

Anthony FOULONNEAU

Orange Labs

4 rue du Clos Courtel, BP 91226,
35512 Cesson-Sévigné, Franceanthony.foulonneau@orange.com**Gaëlle CALVARY**Univ. Grenoble Alpes, CNRS,
Grenoble INP, LIG
F-38000 Grenoble, FranceGaelle.Calvary@imag.fr**Eric VILLAIN**

Orange Labs

4 rue du Clos Courtel, BP 91226,
35512 Cesson-Sévigné, Franceeric.villain@orange.com**Adaptation for sustainable persuasion.**

Abstract. Making people change is difficult; making them change for ever is all the more challenging. We explore adaptation as a means for bringing diversity and thereby for killing the annoying effect of persuasive messages. The case study is TILT, a persuasive application dedicated to smartphone usage regulation. We show that adapting persuasion increases efficiency.

Keywords: persuasion, adaptation.

Résumé. Persuader est difficile ; persuader sur la durée l'est encore plus. Nous explorons l'adaptation pour apporter de la variété et de la pertinence à la persuasion et ainsi pallier l'usure de l'efficacité des messages persuasifs. Le cas d'étude est TILT, un dispositif persuasif pour la régulation du temps d'usage du smartphone. La persuasion de TILT s'appuie sur le principe d'auto-surveillance. L'expérimentation démontre la pertinence de l'adaptation du message persuasif comme renfort de l'efficacité du principe d'auto-surveillance dans le temps.

Mots-clés : persuasion, adaptation.

Édité par Pr. J.M.C. Bastien (Université de Lorraine) & Pr. G. Calvary (Univ. Grenoble Alpes)

1 INTRODUCTION

En moins de dix ans, les smartphones se sont répandus jusqu'à devenir des objets indispensables à notre quotidien. Même si ces objets sont avant tout de formidables outils à la polyvalence inégalée, ils ne sont pas sans problèmes, créant par exemple une dépendance lors d'un usage excessif. Pour répondre à ce problème sociétal, nous proposons TILT, un outil d'aide à la régulation de l'usage du smartphone qui s'appuie, en persuasion, sur le principe d'auto-surveillance (Fogg, 2003).

Avec TILT, nous montrons que le principe d'auto-surveillance est efficace dans la lutte contre l'addiction aux smartphones. Nous montrons aussi qu'une adaptation dynamique des messages persuasifs permet de maintenir l'efficacité de ce principe de persuasion dans le temps.

2 L'USAGE DU SMARTPHONE

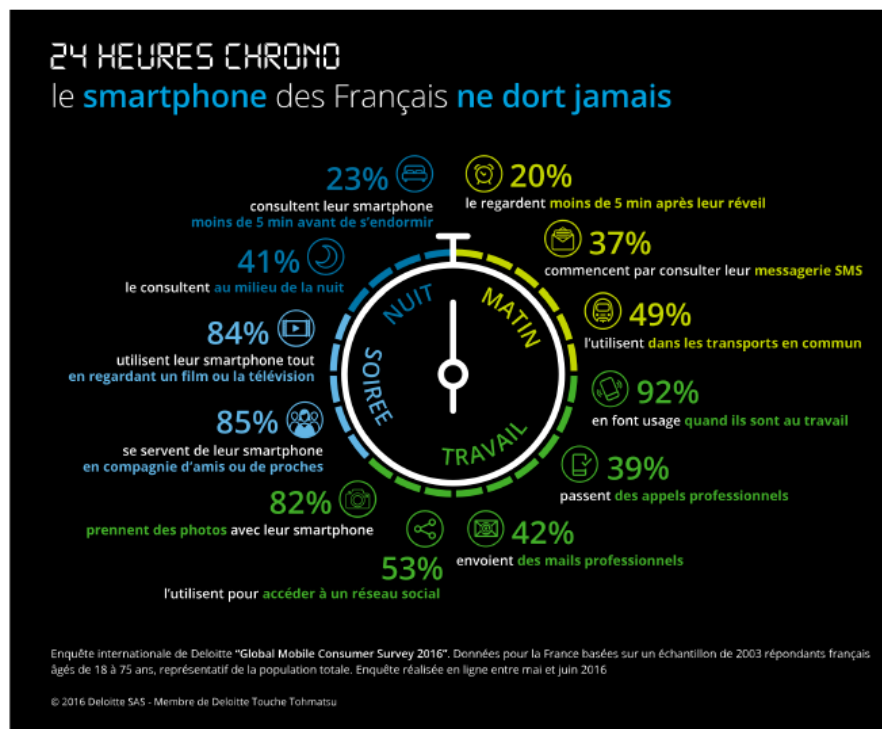
De nos jours, le smartphone est devenu un compagnon indispensable du quotidien pour une majorité de personnes. En 2016, 77% des Français âgés de 18 à 75 ans déclaraient posséder un smartphone (Deloitte, 2016) et les trois quarts d'entre eux le gardaient en permanence à leurs côtés (Zulfikarpasic, Gally, & Hermite, 2016). Il les accompagne dans de nombreuses activités, du réveil au coucher, parfois même au milieu de la nuit, comme le montre la Figure 1 :

- « Pour un Français sur cinq, il se passe moins de cinq minutes entre le réveil et le premier coup d'œil au téléphone portable (hors désactivation de l'alarme) ; une proportion qui double chez les 18-24 ans » (Deloitte, 2016).
- « Tout au long de la journée, les Français vérifient leur smartphone en moyenne 26,6 fois par jour (et quasiment le double, soit 50 fois par jour, pour les 18-24 ans) » (Deloitte, 2016).
- « 58% des Français reconnaissent qu'il leur arrive de consulter leur smartphone au volant et 66% alors qu'ils traversent la rue » (Deloitte, 2016).
- « 81% des Français disent utiliser leur smartphone pendant les repas pris en famille ou en compagnie d'amis » (Deloitte, 2016).

L'omniprésence du smartphone dans notre quotidien impacte nos modes de vie sur de nombreux aspects (Sarwar & Soomro, 2013). C'est par exemple le cas dans l'éducation. Le smartphone donne accès à une grande quantité d'informations. Pour plus de 90% des Français, les outils numériques permettent un accès plus facile à l'information (Zulfikarpasic et al., 2016). Ils facilitent la collaboration entre étudiants et parfois même avec les enseignants. Ils rendent accessibles les sources éducatives depuis n'importe quel endroit (en cas de maladie, de cours du soir, etc.) (Sarwar & Soomro, 2013). Mais le smartphone peut aussi être source de distraction, notamment par l'intermédiaire des réseaux sociaux, des jeux, des vidéos, au sein même des salles de classes, ou au moment des révisions. Il est parfois aussi un outil facilitant la triche lors des examens.

Sarwar et Soomro (2013) étudient l'impact du smartphone dans de nombreux domaines, comme la santé (physique et mentale), les liens sociaux ou le travail, pour montrer dans chacun des cas, un potentiel de conséquences bénéfiques et nocives pour l'utilisateur.

Figure 1 : L'usage des smartphones par les Français (Deloitte, 2016)



L'impact du smartphone sur ces différentes facettes du quotidien soulève une inquiétude principale : l'addiction. Une étude récente montre par exemple que 36% des Français disent avoir le sentiment d'être dépendants de leur smartphone (Zulfikarpasic et al., 2016). Certains le comparent même au doudou des enfants dont l'absence peut provoquer « une sensation de manque comparable à celle éprouvée par les drogués » (Mordant, 2017). King évoque une nouvelle pathologie, appelée nomophobie, en référence aux personnes ayant une peur phobique de se faire voler, de perdre ou d'oublier leur smartphone (King et al., 2013). Tossel (2015) a étudié spécifiquement l'addiction au smartphone à travers une expérimentation qui consistait à prêter pendant un an un iPhone à des personnes qui ne possédaient pas de smartphone. A l'issue de cette expérimentation, 62% des participants se sont dits *addicted* à l'appareil. Cette majorité de personnes avait passé en moyenne deux fois plus de temps sur le smartphone et avait accédé à presque deux fois plus d'applications que les autres participants à l'étude. Les résultats ont aussi montré que l'usage du mail, des messageries instantanées, de Facebook et du Web étaient les usages qui menaient à l'addiction.

En 2003, Fogg dans son livre fondateur sur les technologies persuasives (Fogg, 2003) dédiait un chapitre à la mobilité et à la connectivité. Ces deux propriétés combinées définissent en partie nos smartphones modernes qui n'avaient pas encore vu le jour en 2003. Elles facilitent de plus la mise en œuvre du principe de suggestion, qui stipule que le choix du moment et du contexte de l'intervention persuasive est critique. Fogg imagine alors un avenir où des technologies « pas plus grandes qu'un paquet de cartes » serviraient « à la fois de téléphone mobile, de portail d'information, de plateforme de divertissement, et d'organisateur personnel » (Fogg, 2003). Parfait compagnon du quotidien, cet équipement devait par exemple aider les étudiants à organiser leurs révisions, à se fixer des objectifs, à trouver de l'aide auprès d'étudiants plus expérimentés, ou encore à créer une émulation entre camarades (Fogg, 2003). Force est de constater, plus de quinze ans plus tard, que la réalité est plus contrastée. Si le smartphone est effectivement un outil utile aux étudiants tout au long de leur cursus, il est aussi une source quotidienne de distraction et de procrastination. L'influence du smartphone, de par sa mobilité et sa connectivité, n'est pas toujours au bénéfice de l'utilisateur.

3 ETAT DE L'ART

En 2017, on recensait 43 applications sur le Google Play Store à partir des mots clés "smartphone addiction", qui se donnent pour objectif la réduction de la dépendance à son smartphone. Ces applications s'appuient principalement sur quatre principes de persuasion :

- Le principe de consistance (Kaptein, Markopoulos, Ruyter, & Aarts, 2010) : 56% de ces applications incitent les utilisateurs à se fixer des objectifs d'utilisation maximale du smartphone ou de certaines applications. Elles s'appuient ainsi sur le principe de consistance qui stipule que les individus « s'efforcent de maintenir une cohérence entre les actes et les pensées » (Kaptein, Markopoulos, Ruyter, & Aarts, 2010), notamment des objectifs librement déterminés.
- Le principe d'auto-surveillance (Fogg, 2003) : 44% de ces applications mesurent l'usage du smartphone (temps, nombre d'activations, applications accédées, etc.) et communiquent cette mesure à l'utilisateur pour l'aider à s'autoréguler.
- Le principe de conditionnement (Fogg, 2003) : 12% de ces applications récompensent l'utilisateur lorsqu'il limite l'utilisation de son téléphone ou de certaines applications.
- Le principe de réduction (Fogg, 2003) : 9% de ces applications simplifient l'usage modéré du smartphone en fournissant par exemple des conseils et des outils pour limiter l'usage du smartphone et ses mécanismes addictifs (par exemple, un outil de gestion des notifications et réponses automatiques aux appels).

En dehors de ces principes de persuasion, 54% des applications offrent la possibilité aux utilisateurs de bloquer l'utilisation du smartphone ou l'accès à certaines applications pendant une période de temps déterminée, ou parfois indéfiniment. Il s'agit même parfois du mécanisme principal employé par l'application pour arriver à ses fins : limiter l'usage du smartphone. Cependant, même si l'utilisateur valide l'interdiction d'accès dans un premier temps, ce mécanisme est une forme de coercition qui est même irréversible dans certaines applications. Malgré sa validation initiale, l'utilisateur peut avoir changé d'avis, ou un événement peut le mettre dans une situation d'urgence, qui nécessite un accès immédiat à l'appareil ou l'application. Une fois l'accord initial validé, ce mécanisme, que l'on nomme auto-coercition, ne laisse plus le choix à l'utilisateur. Il va donc à l'encontre de la définition des technologies persuasives, qui exclut l'emploi de la coercition (Fogg, 2003).

On trouve aussi des applications persuasives pour lutter contre l'addiction au smartphone dans la littérature scientifique. Par exemple, Ko et al. (2015) proposent NUGU, une application pour smartphone dont l'objectif est d'aider l'utilisateur à améliorer son autorégulation de l'usage du smartphone. Cette application contient plusieurs fonctionnalités :

- Elle mesure les activités de consultation du smartphone (temps de consultation de la semaine, détail de l'usage du téléphone heure par heure, etc.), et propose une métrique pour représenter les efforts consentis par l'utilisateur pour réduire son usage.
- Elle aide l'utilisateur à se fixer des objectifs sous forme de périodes de non-usage du smartphone.
- Elle facilite l'apprentissage social et la compétition en permettant aux utilisateurs de se regrouper par affinité, et de comparer leurs statistiques (usage du smartphone, objectif de non-usage, etc.).

Un autre exemple d'application persuasive d'aide à la maîtrise de l'usage du smartphone est AppDetox (Löchtefeld, Böhmer, & Ganey, 2013). Avec AppDetox, les utilisateurs peuvent se créer des règles pour restreindre l'accès à certaines applications de leur smartphone. Trois types de règles sont possibles :

- Restriction *TimeOfDay* : les applications sélectionnées ne sont pas accessibles à certaines périodes de la journée,
- Restriction *Forever* : les applications sélectionnées ne sont pas accessibles quel que soit le moment de la journée,

- Restriction *Countdown Timer* : le temps de consultation des applications sélectionnées est limité à une durée maximum par jour.

LockDoll (Choi, Jeong, Ko, & Lee, 2016) est un dispositif persuasif qui cible une situation particulière de l'utilisation du smartphone, celle de l'usage en collectivité, ou en cours d'activités de groupe. Il est décrit comme un artefact tangible qui fournit un feedback ambiant pour une meilleure prise de conscience de l'usage du smartphone dans les activités de groupe. Concrètement, LockDoll est composé de l'artefact lui-même, un chat en plastique blanc dont les pattes avant sont mobiles et dotées de LED qui lui permettent d'émettre de la lumière, et d'une application Android à télécharger par chaque membre du groupe. Le dispositif évolue suivant quatre états différents :

- La phase d'initialisation et de connexion : LockDoll invite les utilisateurs à se connecter au dispositif à l'aide de l'application Android en indiquant le code d'identification de l'artefact.
- La phase d'identification d'un usage d'au moins un smartphone : lorsqu'au moins un membre du groupe utilise son smartphone au-delà d'une certaine durée, le chat LockDoll s'allume pour faire prendre conscience au groupe que certains membres sont en train d'utiliser leurs smartphones.
- La phase d'un usage prolongé d'au moins un smartphone : suite à la phase précédente, si un des utilisateurs de smartphone persiste dans son usage, le chat se met à agiter les bras.
- La phase de re-concentration sur les activités du groupe : suite à l'une des deux phases précédentes, lorsque les utilisateurs de smartphone cessent, le chat arrête d'agiter ses bras et s'éteint.

MyTime est une application persuasive conçue « pour aider les personnes à atteindre des objectifs de non-usage du smartphone » (Hiniker, Hong, Kohno, & Kientz, 2016). Dans les faits, l'application participe à l'élaboration des objectifs en fournissant une liste d'applications pour lesquelles l'utilisateur peut se fixer une limite de temps d'utilisation, et en permettant à l'utilisateur de choisir cette limite de temps. L'application va de plus rappeler à l'utilisateur son objectif lorsque cette limite sera atteinte.

L'analyse des applications persuasives du Google Play Store et de la littérature, dédiées à la lutte contre l'addiction au smartphone, et l'aide à la régulation de son usage, a permis d'identifier les trois principaux principes de persuasion employés dans ce cadre particulier : le principe de consistance, le principe d'auto-surveillance et le principe d'auto-coercition. Même si près de la moitié des applications identifiées sur le Google Play Store implémentent le principe d'auto-surveillance, aucune étude n'a été menée spécifiquement sur l'usage de ce principe pour aider à l'auto-régulation de l'usage du smartphone. Pourtant, ce principe est largement employé dans de nombreux domaines comme l'économie d'énergie (Snow, Buys, Roe, & Brereton, 2013), l'économie d'eau (Kappel & Grechenig, 2009) (Laschke, Hassenzahl, Diefenbach, & Tippkämper, 2011), la pratique régulière d'une activité physique (Harries, Eslambolchilar, Stride, Rettie, & Walton, 2013) (Consolvo et al., 2008) (Denning et al., 2009), le sommeil (Choe, Lee, Kay, Pratt, & Kientz, 2015) (Kay et al., 2012), ou encore la nutrition (Cordeiro et al., 2015). Pour répondre à ce manque, nous proposons TILT, une application basée sur le principe d'auto-surveillance pour l'aide à la régulation de l'usage du smartphone.

4 PRESENTATION

TILT (*Time Is LifeTime*) est une application dédiée à la régulation de l'usage du smartphone, exclusivement basée sur le principe d'auto-surveillance. Son objectif est de « supprimer la tâche fastidieuse de mesure de sa performance ou de son statut pour aider les individus à poursuivre un objectif comportemental » (Fogg, 2003).

Cependant, un problème récurrent de la mise en œuvre du principe d'auto-surveillance est l'usure de l'efficacité du dispositif sur le long terme (Snow et al., 2013). Plusieurs

solutions ont été proposées, notamment par Arroyo avec le principe d'interface adaptative, qui consiste à « éviter l'effet d'ennui lié à la répétition en faisant varier la modalité et la fréquence des feedbacks » (Arroyo, Bonanni, & Selker, 2005). Avec TILT, nous souhaitons aller plus loin qu'une simple variation du message persuasif. Nous souhaitons adapter le message persuasif pour apporter de la variété mais aussi de la pertinence à la persuasion en fonction du contexte d'usage.

4.1 Description de l'application

L'application TILT (Figure 2) présente le temps de consultation du smartphone et le nombre de ces consultations suivant quatre périodes de temps : le jour courant, la veille, les sept derniers jours, et l'ensemble des données depuis l'installation de TILT, accessibles à l'aide de quatre onglets « glissants ». Deux boutons en bas de l'écran permettent de choisir entre « le temps de consultation » et « le nombre de consultations ». Pour chacune des quatre périodes, la consultation du smartphone est représentée à l'aide d'un graphique avec en abscisse le temps et en ordonnée le nombre ou le temps de consultation du smartphone. Pour les deux premières périodes de temps, le graphique est de type « colonne » avec une colonne par heure de la journée. Pour les deux dernières, le graphique est de type « ligne » avec un point par jour. Dans tous les cas, une pression sur la colonne ou sur le point donne accès aux détails de la mesure par un message de type « toast », précisant le temps et le nombre de consultations. Enfin, la mesure totale de la période observée (temps ou nombre de consultations) est rappelée en haut de l'écran, alors qu'en bas de l'écran, un message rappelle l'intérêt de maîtriser son utilisation du smartphone.

Figure 2 : IHM de l'application TILT



TILT est également composée d'un widget, d'une notification permanente dans la barre des notifications, et de messages de type « toast » (Figure 3). C'est sur ces trois éléments que porte l'adaptation. Vingt-deux présentations de la mesure du comportement ont été définies. A chacune de ces présentations est associé un critère d'éligibilité qui, à défaut d'optimiser la pertinence du message, cherche tout du moins à la renforcer. Le widget et la notification permanente sont mis à jour à chaque déverrouillage du téléphone. Dans le même temps, l'utilisateur reçoit un message de type « toast », c'est-à-dire un bref message (durée

d'affichage de trois secondes) qui apparait en surimpression de tout contenu ou de toute application, « à la manière d'un toast qui sortirait d'un grille-pain ».

Le choix du message parmi les vingt-deux présentations possibles se fait de la manière suivante :

- Pour chaque présentation, le système calcule son éligibilité,
- Si plusieurs présentations sont éligibles, le système sélectionne celle qui a été présentée à l'utilisateur il y a le plus longtemps, pour favoriser la variété des messages,
- Le système met à jour le widget, la notification, génère le message « toast », et associe la date courante comme dernière date de visualisation de cette présentation.

Figure 3 : Widget et message « toast » lors du déverrouillage de l'écran du smartphone



Il existe cependant une différence entre le widget, la notification et le message « toast ». Seul le premier peut afficher des images. Il est donc le seul à contenir une icône associée à la communication de la mesure.

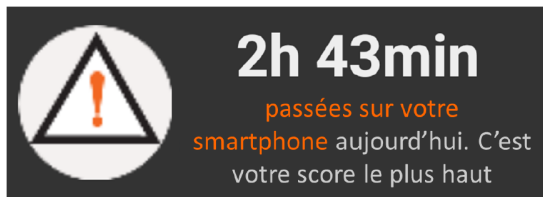
Les vingt-deux présentations sont réparties en deux catégories : celles relatives au temps de consultation du smartphone et celles relatives au nombre de consultations. On a ainsi :

- La durée / le nombre de consultations au cours de la dernière heure,
- La durée / le nombre de consultations au cours de la journée,
- La durée / le nombre de consultations la veille,
- La durée / le nombre de consultations lors des sept derniers jours,
- La durée / le nombre de consultations depuis l'installation de l'application,
- La comparaison du temps / du nombre de consultations au cours de la journée avec le temps / le nombre de consultations au même moment la veille,
- La comparaison du temps / du nombre de consultations au cours de la journée avec la moyenne du temps / du nombre de consultations au même moment lors des jours précédents,
- L'évolution (i.e. la dérivée) du temps / du nombre de consultations,

- L'approche ou l'atteinte d'un minimum de temps / du nombre de consultations au cours de la journée à un instant de la journée,
- L'approche ou l'atteinte d'un maximum de temps / du nombre de consultations au cours de la journée à un instant de la journée,
- Le taux d'utilisation du smartphone (temps ou nombre de consultations) sur une période de la journée (par exemple, entre 18h et 19h) par rapport au reste de la journée.

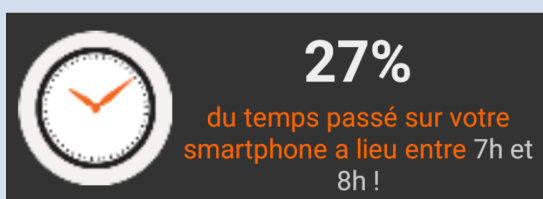
Dans le tableau suivant, nous donnons plus de détails pour cinq de ces représentations à titre d'exemples. On y retrouve un visuel du widget, une description de la représentation, et de son critère d'éligibilité.

Message persuasif	Description / Critère d'éligibilité
 <p>1h 28min passée sur votre smartphone aujourd'hui</p>	<p>Ce message affiche le temps de consultation total du smartphone lors de la journée en cours.</p> <p>Ce message est éligible le soir, après 20h et jusqu'à minuit. L'objectif est d'aider l'utilisateur à faire un bilan de sa journée en terme d'utilisation du smartphone.</p>
 <p>367 consultations de votre smartphone ces 7 derniers jours</p>	<p>Ce message présente le nombre total de consultations du smartphone au cours des sept derniers jours.</p> <p>Ce message est éligible lorsque le nombre de consultations du smartphone au cours des cinq derniers jours est constant (i.e., le coefficient de variation de la série « nombre de consultations par jour » est inférieur à 35%). L'objectif est d'offrir, lorsque le comportement stagne, une nouvelle perspective sur ce comportement et ses conséquences.</p>
 <p>7 min épargnées par rapport à hier à la même heure</p>	<p>Ce message présente l'évolution du temps de consultation du smartphone entre le jour précédent et le jour courant, à la même heure de la journée.</p> <p>Ce message est éligible lorsque le temps de consultation du smartphone durant la journée est inférieur au temps de consultation du smartphone la veille, à la même heure, avec un écart supérieur à 10%. L'objectif de cette présentation est d'aider l'utilisateur à identifier les raisons d'une utilisation plus faible de son smartphone et d'encourager ses efforts lorsqu'il cherche à diminuer son temps de consultation.</p>



Ce message affiche, soit le temps de consultation du smartphone, s'il est le temps maximum de consultation sur une journée pour l'utilisateur depuis l'installation de TILT, soit la différence entre le temps de consultation du jour présent, et le temps maximum de consultation sur une journée.

Ce message est éligible lorsque le temps de consultation du jour est supérieur au temps maximum de consultation quotidien depuis que TILT est installée, ou lorsque qu'il représente au moins 90% de cette valeur. L'objectif de ce message est d'indiquer à l'utilisateur qu'il utilise beaucoup son téléphone, par rapport à ses habitudes.



Ce message affiche le taux moyen d'utilisation du smartphone lors d'une période de la journée (un créneau d'une heure) par rapport à l'utilisation moyenne d'une journée complète, mesurée à partir du temps de consultation du smartphone.

Ce message est éligible lorsque le taux moyen de temps de consultation du téléphone de l'heure courante ou de l'heure à venir, par rapport au temps moyen de consultation du téléphone par jour, dépasse 20%. L'objectif de ce message est d'aider l'utilisateur à identifier les moments de la journée où il a l'habitude de beaucoup utiliser son téléphone.

5 EVALUATION

L'évaluation de TILT vise à remplir deux objectifs :

- Évaluer le principe d'auto-surveillance pour la réduction de l'utilisation du smartphone,
- Et évaluer l'adaptation de la persuasion sur l'efficacité persuasive, notamment sur le long terme.

Dans cette expérimentation, ces objectifs se traduisent en hypothèses, qu'il s'agit alors de confirmer ou d'infirmer :

- Hypothèse 1 : le principe d'auto-surveillance aide les individus à réduire l'utilisation de leur smartphone,
- Hypothèse 2 : l'adaptation permet de renforcer l'efficacité de la persuasion sur la réduction de l'utilisation du smartphone.

L'expérimentation est organisée en deux périodes. Dans un premier temps, l'ensemble des testeurs est équipé d'une version de TILT privée de toute IHM, dont le seul rôle est la mesure de l'utilisation du smartphone. Dans un second temps, TILT est mis à jour vers une version « effective ». Pour le groupe expérimental, il s'agit de la version munie de la diversité des présentations décrites précédemment. Pour les membres du groupe de contrôle, il s'agit d'une version de TILT avec une application identique à celle du premier groupe, mais avec un seul type de message affiché dans le widget, la notification et le message « toast ». Cet

unique format de message sera la communication du temps de consultation quotidien, qui apparaît être le plus sollicité dans l'état de l'art (section 3).

5.1 Participants

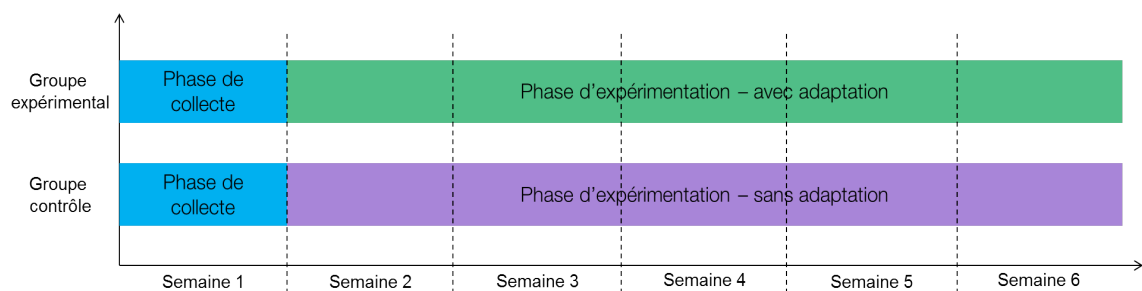
Cent quinze personnes ont été contactées afin de recruter les 19 participants de l'expérimentation. Les informations recueillies nous ont permis de répartir les participants suivant quatre clés : l'âge, le sexe, les raisons qui motivent la volonté de diminuer l'utilisation du smartphone et le profil d'utilisation du smartphone (utilisation de réseaux sociaux, temps estimé d'utilisation du smartphone, temps de navigation sur le web).

L'expérimentation s'appuie ainsi sur 9 participants pour la modalité « sans adaptation », et dix participants pour la modalité « avec adaptation », avec comme caractéristiques de répartition :

- Huit femmes dans chaque modalité, deux hommes dans la modalité « avec adaptation », un seul dans la modalité « sans adaptation »,
- Une moyenne d'âge de 32 ans pour la modalité « sans adaptation » et 33 ans pour la modalité « avec adaptation »,
- Un temps moyen estimé d'utilisation du smartphone de 2h 57min pour la modalité « avec adaptation » et 2h 45min pour la modalité « sans adaptation »,
- Un temps moyen estimé de consultation d'Internet depuis le mobile de 2h pour la modalité « avec adaptation » et 1h 53min pour la modalité « sans adaptation »,
- Une utilisation quotidienne des réseaux sociaux pour l'ensemble des participants des deux modalités,
- Une justification du désir de diminuer l'usage du téléphone : 12 participants évoquent l'addiction (6 en modalité « sans adaptation », 6 en modalité « avec adaptation »), 8 participants évoquent le manque de temps (3 en modalité « sans adaptation », 5 en modalité « avec adaptation ») et 5 participants évoquent le besoin de sérénité (3 en modalité « sans adaptation », 2 en modalité « avec adaptation »).

5.2 Protocole expérimental

Figure 4 : protocole expérimental



Durant la première phase, TILT n'affiche aucune IHM. Cette version n'a ni widget, ni notification. Elle n'affiche pas de message « toast » lors du déverrouillage de l'écran, et l'accès à l'application ne renvoie qu'une page blanche avec le texte « patience » au milieu d'écran. En revanche, TILT est bien actif quant à la collecte des données. Le service reçoit chaque notification du système Android sur le verrouillage – déverrouillage de l'écran. Il met à jour sa base de données en conséquence et notifie le serveur de statistiques de chacune de ces données. Le serveur de statistique est un serveur REST, qui a pour fonction le stockage des données relatives à l'utilisation du smartphone et de TILT pour les participants à l'expérimentation, dans le but d'une analyse ultérieure de ces données. En dehors des données d'activation et désactivation de l'écran du smartphone, il stocke aussi les événements de mise à jour du widget avec le choix du format du message. La phase de collecte s'étend sur sept jours.

Suivant la modalité à laquelle ils ont été affectés, les participants ont alors une version complète de TILT, tel que décrite dans la section **Error! Reference source not found.** ou une version légèrement différente qui n'utilise qu'un seul *template* pour les messages du widget, de la notification permanente, et les messages « toast ». Ce template est le temps d'utilisation quotidien du smartphone. La phase de test dure cinq semaines et est ponctuée de deux questionnaires et une interview pour chacun des participants.

A la fin de la première semaine de test, les participants ont reçu ainsi un questionnaire sur le déroulé de l'expérimentation et sur leur utilisation de leur smartphone. Il porte sur quatre thèmes : l'utilisation du smartphone, l'utilisation de l'application TILT, l'interprétation des informations fournies par TILT, et l'impact de TILT sur l'utilisation du smartphone.

Les participants ont reçu un nouveau questionnaire au cours de la quatrième semaine de test. Légèrement différent du premier, il se focalise sur l'interprétation des informations fournies par TILT, et leur impact sur l'utilisation du smartphone.

Enfin, lors de la dernière semaine, chaque participant a été contacté par téléphone pour une interview de 15 minutes. L'interview portait sur le rapport du participant avec son smartphone avant l'expérimentation, son ressenti lors de l'expérimentation et l'impact de TILT sur l'utilisation du smartphone à l'issue du test.

6 ANALYSE DES DONNEES ET RESULTATS

Les données d'usage collectées par le serveur et les réponses aux deux questionnaires et à l'interview nous ont permis de mieux comprendre le comportement d'utilisation du smartphone, mais aussi l'impact de TILT et plus globalement du principe d'auto-surveillance sur ce comportement, et enfin l'apport de l'adaptation de la persuasion. Dans la suite de cette section, nous appelons modalité 1, la modalité « sans adaptation de la persuasion », et modalité 2, la modalité « avec adaptation de la persuasion ».

6.1 L'utilisation du smartphone

La première semaine de l'évaluation, avec une version de TILT aux fonctionnalités réduites, a permis de mieux connaître l'utilisation du smartphone de chacun des participants. On apprend ainsi que le temps moyen d'utilisation du smartphone par jour s'établit à 2h 29min (minimum = 1h 17min, maximum = 4h 59min), et le nombre de consultations à 70 (minimum : 23, maximum : 138). Étonnamment, le temps moyen de consultation quotidienne pour chacune des modalités est le même, même si sa répartition varie légèrement (pour la modalité 1 : médiane = 2h 15min et écart-type = 1h 16min. Pour la modalité 2 : médiane = 2h 13min et écart-type = 1h 13min). Le nombre de consultations moyen est quant à lui de 75 dans la première modalité et 66 pour la seconde. Le panel de testeurs est donc relativement homogène entre les deux modalités concernant les temps et nombre de consultations du smartphone.

Plus de 80% des testeurs nous indiquent (premier questionnaire) qu'ils consultent une notification dès qu'ils la reçoivent (89% en modalité 1, 80% en modalité 2). Par exemple, Mme F. « ne peut résister à une notif d'un nouveau mail ». Les sollicitations du smartphone ont donc un impact important sur l'utilisation du smartphone, mais elles font généralement partie d'une activité plus globale où l'initiative passe alternativement de l'utilisateur au smartphone. Ainsi, pour les échanges par SMS, 84% des utilisateurs indiquent en envoyer autant qu'ils en reçoivent (11% en envoient plus, 5% en envoient moins). Ce taux tombe à 47% pour les appels téléphoniques, mais 37% indiquent être moins appelés qu'ils n'appellent, et 16% à l'inverse appeler plus qu'ils ne sont appelés.

En dehors des notifications, les circonstances favorisant l'utilisation du smartphone sont nombreuses. Pour Mme L., son utilisation du téléphone « dépend de ses activités, des visites, de la météo, ça dépend vraiment des conditions ». Mme V. qui est étudiante, note que son utilisation « dépend des circonstances, de ma dispo, des examens,

dépend si j'ai quelque chose à faire. Quand je suis occupée, je ne l'utilise pas ». Pour Mme S., c'est aussi une manière de tromper l'ennui : « dès que je ne suis pas avec quelqu'un, au lieu de faire quelque chose, je vais sur mon téléphone ». Certaines circonstances sont donc plus favorables à la procrastination sur le smartphone, comme le remarque Mr F. : « j'ai une heure de trajet pour aller à mon travail. Je consomme aussi beaucoup à ce moment-là. Ce n'est pas du temps où je pourrais faire autre chose ».

L'utilisation du téléphone ne vise donc pas toujours une fin, une activité particulière. Une majorité de testeurs indique explicitement lors des interviews, consulter leur téléphone même s'ils n'en ont pas besoin, parfois de manière très consciente, comme Mme A. : « je regarde mon téléphone même si j'en ai pas besoin. Je vais juste dans le menu et cherche quelque chose à faire justement sur le téléphone ». Mme M. compare cela à un comportement addictif : « comme avant je fumais, et même si je n'avais pas besoin de fumer, je fumais quand même. Là c'est pareil ». C'est une manière de « se donner une contenance » pour Mr V.

La plupart des participants à l'expérimentation identifie aussi des routines dans leur utilisation du smartphone. Trois périodes sont surtout identifiées pour de telles routines : le matin, le midi et le soir. Pour Mme D., c'est « au petit dej' et le midi ». Pour Mme S., « le matin en me levant, et le midi, et le soir après 19h30 ». Certains y trouvent par exemple une vertu pour s'endormir : « Au réveil je regarde directement les messages et les mails. Le soir, avant de se coucher, ça m'aide à m'endormir » (Mme Y.). Souvent ces routines sont très strictes : « Je fais un circuit rapide en 1 minute : mails, Facebook, deux ou trois sites, site de bourses et ensuite j'arrête. Je fais ce parcours régulièrement dans la journée, environ dix fois par jour » (Mr F.). « Quand je mange, c'est systématique, Facebook, mails, jeux. Tous les jours je fais toujours la même chose » (Mr M.).

Les utilisateurs sont aussi conscients des conséquences de leur utilisation importante du smartphone, parfois même là où on ne l'attend pas. Ainsi, trois personnes donnent pour exemple des conséquences sur la préparation des repas : « je passe parfois du temps sur le téléphone plutôt que de me préparer à manger, et je finis par aller au Mc Do » (Mr M.), « quand je fais une recette, il m'arrive d'oublier un ingrédient ou d'en mettre trop » (Mme Au.), « je fais la cuisine et je pars sur mon téléphone et j'ai des trucs qui crament. » (Mme An.). Plus globalement ce sont les conséquences sur la vie de famille qui sont les plus citées : « j'ai parfois des réflexions de mon conjoint qui dit : encore une fois elle n'écoute pas. » (Mme C.), « je peux être déconcentrée, pas toujours attentive aux enfants » (Mme V.), « c'est un sujet de dispute dans le couple » (Mme D.). Pour les étudiants, c'est la capacité à être concentré et assidu sur les devoirs qui ressort : « Parfois quand je fais mes devoirs, je n'arrive pas à me retenir quand je reçois des messages » (Mme Y.), « Je suis étudiant, et parfois je dévie sur mon téléphone au lieu de faire mes devoirs » (Mr. M.).

Plusieurs testeurs font part d'un rapport addictif à leur smartphone, parfois avec des mots très forts, comme par exemple Mme A. : « j'ai l'habitude de dire que mon téléphone est mon doudou ». Pour Mme C., « si j'oublie mon téléphone le matin, je ne me sens pas bien, et je peux faire demi-tour. » Elle ajoute : « le téléphone c'est un membre de la famille ».

Dans les interviews, **la majorité des participants indique ne pas utiliser son smartphone de la même manière le week-end et le reste de la semaine.** Par exemple, Mme D. dit utiliser plus son téléphone la semaine car il est plus accessible, posé sur le bureau lorsqu'elle travaille. Cependant, sur l'ensemble des données (semaine de collecte et 5 semaines de tests), on ne trouve pas de différence significative entre le temps de consultation des jours en semaine et celui des jours de week-end (Test Welsh- ANOVA, $p = 0,83$, moyenne semaine = 2h 29min, moyenne weekend = 2h 27min). En observant les données, on remarque tout de même que la situation est très hétérogène parmi les testeurs. Pour une majorité d'entre eux (13 / 19), il y a une véritable différence de comportement (supérieure à 10% en moyenne sur la totalité de la durée de l'expérimentation) quant à

l'usage du mobile entre le week-end et les jours en semaine. Mais, si pour certains le week-end marque un temps de consultation sensiblement moins important que les jours en semaine (9 testeurs), pour d'autres, le phénomène inverse se produit (4 testeurs), atténuant l'effet des premiers sur les moyennes respectives. Lorsqu'on étudie séparément chacun de ces groupes la différence devient significative (groupe de 9 testeurs : test Welsh-ANOVA, $p = 0,006$, moyenne week-end = 1h 30min, moyenne semaine = 2h 5min ; groupe de 4 testeurs : test Welsh-ANOVA, $p = 0,058$, moyenne week-end = 2h 20min, moyenne semaine = 1h 45 min). Parmi les 6 personnes dont le comportement le week-end et la semaine est relativement homogène, quatre travaillent régulièrement le week-end (2 infirmières, 1 agent de la circulation SNCF, 1 vendeuse en prêt-à-porter), et les deux autres sont étudiants. A l'inverse, parmi les 13 autres personnes, personne ne travaille le week-end. L'emploi du temps est bien un des éléments ayant le plus d'influence sur l'utilisation du smartphone.

6.2 Perception de TILT

Une majorité de testeurs perçoivent l'utilité de TILT. Dans le premier questionnaire, ils sont 58% à estimer le dispositif utile ou très utile. Ce chiffre passe à 68% dans le second questionnaire, marquant un léger progrès au fil de l'expérimentation. Dans le même temps, seule une personne (5%) ne voit aucune utilité à TILT, lors des deux questionnaires. On retrouve cette satisfaction globale dans les interviews. Par exemple, 6 personnes (sur 19) ont souhaité conserver TILT à l'issue de l'expérimentation, malgré nos avertissements (arrêt du serveur de statistiques qui va créer une dégradation de l'expérience utilisateur, notamment de la latence) : « j'en ai parlé à des amis qui apprécieraient d'avoir l'appli et je souhaite moi aussi la garder » (Mme C.). Mme B. dit aussi : « je pense que c'est quelque chose qui me manquera ». Nous avons demandé dans le second questionnaire aux testeurs comment avait évolué leur intérêt pour l'application au cours de l'expérimentation. Elle a régressé pour 21%, s'est maintenue pour 37%, et a progressé pour 42% des testeurs.

Lors des interviews, les testeurs expriment un intérêt plus global pour le concept, qu'ils perçoivent comme la communication du temps d'utilisation de leur téléphone mobile. Par exemple, Mme M. juge « intéressant de connaître le temps passé sur son téléphone ». Pour Mme D., « TILT est une bonne idée, et l'utilisation de notifi aussi ».

Même si la perception de l'utilité est quasi-stable entre les deux questionnaires (léger progrès), le rapport à l'application évolue au court de l'expérimentation. Ainsi, **une majorité des testeurs nous a fait part lors des interviews, d'une surprise, d'une prise de conscience, voire d'un choc lors des premiers jours de test.** Par exemple pour Mme A., « au début, je me suis pris une claque. J'avais une idée de ma conso mais elle était complètement fautive en fait ». Mme Y. indique « je ne me rendais pas réellement compte. J'étais vraiment étonnée. Ça remet en cause ce qu'on fait avec son portable ». Mme D. anticipait cette mesure avec crainte : « avoir confirmation par une appli de mon utilisation intensive me faisait peur ». Par la suite, la plupart s'habitue, et parfois même rationalise : « la première fois je trouvais que c'était énorme mais en fait j'écoute beaucoup de musique et je mets beaucoup de musique aux enfants ». Pour quelques personnes, l'effet persuasif s'arrête à cette première impression : « de l'étonnement au début et après rien. Une fois qu'on a vu, plus d'intérêt ».

L'effet de surprise a aussi laissé place à d'autres sentiments comme la culpabilité. Mme S. a ainsi « ressenti de la culpabilité parce que c'est un chiffre affiché. C'est concret ». Certains y voient un aspect plus positif : « il y a un côté culpabilisant, mais ça incite quand même. Et puis c'est plus une remise en question. Et il y a aussi un côté encourageant » (Mme F.). Dans tous les cas, notre objectif de neutralité des messages, d'absence d'objectif et de jugement, ne semble pas avoir totalement été rempli.

Deux personnes ont perçu, au moins à un moment de l'expérimentation, le dispositif comme un dispositif de surveillance normatif. La première réaction de Mme S. a été « de quoi je me mêle ! ». Elle précise : « je pensais que l'application surveillait tout ce que je

faisais sur mon téléphone. Ensuite j'ai été rassurée en allant sur l'appli ». De même, Mme D. indique « j'ai trouvé que c'était plus du flicage ou du contrôle qu'une liberté en fait ».

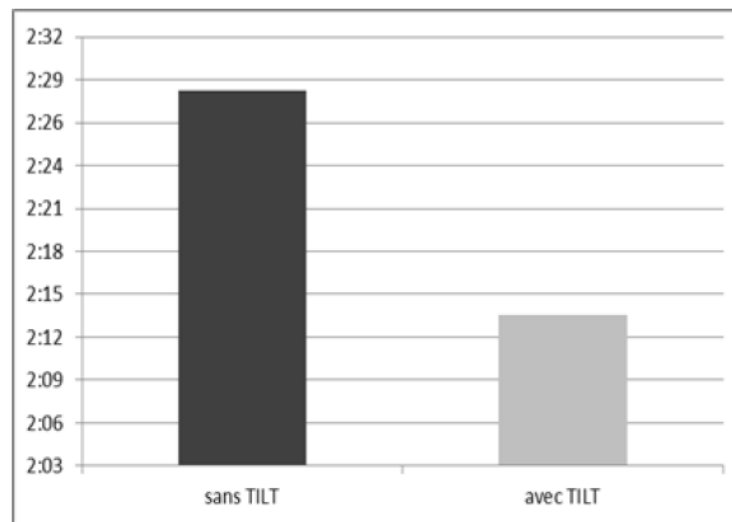
Nous avons d'ailleurs demandé, dans le second questionnaire, comment les testeurs percevaient la finalité d'un tel dispositif. **Pour près des trois quarts (74%), il s'agit bien d'un dispositif persuasif dont l'objectif est de faire « diminuer » l'utilisation du smartphone. À l'inverse, les 26% restant l'ont perçu comme un simple dispositif d'information.** Pour Mme S., TILT est « comme un avertisseur, comme un régulateur un peu avec une sorte d'alerte touche pas au téléphone ». Mme C. indique : « je savais que j'utilisais beaucoup le téléphone, mais j'aurais jamais cru y passer parfois 3 ou 4 heures. Mais finalement je ne suis pas si désagréablement surprise puisqu'au fond je sais que je passe beaucoup de temps dessus. Je suis surprise mais pas négativement. C'est plus une info ». Les interviews ont aussi montré que pour deux personnes, les seules conséquences envisagées d'une forte utilisation du smartphone se rapportaient aux forfaits, et à un éventuel dépassement du quota autorisé : « mon utilisation ne me pose pas de problème car je suis en illimité » (Mme M.), « je me sens libre avec mon forfait illimité. Je n'ai donc pas d'objectif de réduire quoique ce soit » (Mme D.). Cependant, cette interprétation peut éventuellement avoir été influencée par le fait que cette expérimentation était officiellement organisée par Orange, un opérateur téléphonique.

Du point de vue des utilisateurs, TILT se décomposait en deux éléments. D'un côté l'application, qui offrait un accès à toutes les informations d'utilisation du mobile, à la demande. De l'autre, les messages qui venaient les interpeller par l'intermédiaire du widget, de la notification et d'un message toast. Ils se montrent partagés quant à une préférence pour l'un de ces deux éléments (58% préfèrent l'application, et 42% les messages). Une majorité d'entre eux tiennent à l'intégrité de TILT, et à l'existence de ces deux éléments (21% sont prêts à se passer des messages, et 26% de l'application, mais on verra par la suite qu'il y a une forte disparité entre les deux modalités sur ce sujet).

Pour environ un quart des participants, les messages ont été une incitation à consulter l'application, notamment les utilisateurs de la première modalité, pour qui c'était le seul moyen d'accès à nombre d'informations. Par exemple pour Mme S., « les notifications stimulaient la consultation de l'appli », en particulier « l'historique ». Cependant, **les notifications n'étaient pas systématiquement lues par les testeurs.** Par exemple, Mme D. « lisait les notifs deux fois sur trois ». Une des raisons possibles, et le principal reproche adressé par les participants, est **la gêne occasionnée par le message toast lors de certaines consultations rapides et ciblées du téléphone.** En effet, ce message recouvrait la partie basse de l'écran, ne permettant pas de lire et d'agir sur le contenu situé à cet endroit, le temps que le message disparaisse (2 secondes). C'est par exemple ce que nous a dit Mme F. : « des fois ce qui était embêtant, c'était d'attendre l'effacement du message pour faire quelque chose de rapide sur le téléphone », ou Mr M. : « au début c'était énervant d'avoir des notifs qui s'affichent en bas de l'écran, mais on s'habitue ». En revanche, la fréquence d'envoi des messages était adéquate pour la plupart des utilisateurs : « au début c'était surprenant toutes ces notifs, mais après je me suis habituée et finalement j'ai trouvé cela plutôt intéressant ».

6.3 Performance de TILT

Figure 5 : Temps d'utilisation du smartphone pendant la période de mesure (sans TILT) et pendant la période de test (avec TILT)



La comparaison du temps d'utilisation du smartphone lors de la semaine de collecte de données avec celui des cinq semaines de test, pour l'ensemble des 19 testeurs, montre que **TILT influence significativement l'utilisation du smartphone** ($p = 0,025$). Ils passent d'une utilisation quotidienne moyenne de 2h 29min à 2h 14min. La taille de l'échantillon étant relativement faible, nous avons évalué sa normalité (test Shapiro-Wilk, $p = 0,4$), la variance des modalités (test de Levene, $p = 0,72$), avant d'effectuer une ANOVA pour échantillons appariés.

Cependant, ce résultat cache une disparité entre la modalité « sans adaptation », et celle « avec adaptation », ainsi qu'une évolution de l'efficacité de TILT au cours du temps. Si l'on prend uniquement les données de la première modalité, la baisse n'est plus significative ($p = 0,58$). Entre la phase de collecte et la phase de test, le temps moyen d'utilisation passe de 2h 29min à 2h 24min. Elle est en revanche plus marquée lors des deux premières semaines de test (2h 20min) que les semaines suivantes, mais toujours pas significative ($p = 0,35$). L'efficacité de TILT, lorsqu'elle est privée d'adaptation des messages persuasifs, semble se réduire avec le temps.

Pour rappel, la première hypothèse que cette expérimentation cherche à vérifier est l'efficacité du principe d'auto-surveillance comme seul moyen d'action pour réguler l'utilisation du smartphone. **Ces résultats permettent d'affirmer que ce principe est effectivement efficace sur ce comportement (résultat sur l'ensemble des testeurs), mais que son efficacité dépend grandement de la manière de le concevoir (résultat de la première modalité), notamment à long terme.**

Ces résultats sont confortés par les propos recueillis lors des interviews :

- « TILT impacte mon utilisation du téléphone. J'ai fait de vrais efforts. »
- « Volontairement en famille, je ne prends plus mon téléphone. »
- « Avant l'appli, je passais deux heures par jour sur mon téléphone, moins maintenant. »
- « J'ai fait des efforts pour ne plus regarder les applis 10 fois par jour. »
- « Le fait qu'il y ait des messages, j'ai beaucoup réduit. Je ne le regarde plus systématiquement, mais j'ai toujours mes petites manies. Je me suis offert une montre connectée et la montre vibre quand il y a une notif. Plus besoin de regarder le téléphone. »
- « Je me suis prise au jeu. Ça me motivait pour réduire ma conso. »
- « Ça m'a ouvert un peu l'esprit. J'ai un rythme que je vais maintenir. »

- « J'ai essayé de modifier ma conso en essayant d'y aller une fois le matin, le midi et le soir, en regroupant mes utilisations. »

Ces résultats sont aussi cohérents avec les réponses aux questionnaires où 60% des utilisateurs disent percevoir l'influence de TILT sur leur utilisation du smartphone.

Nous avons demandé aux participants à l'expérimentation, dans le premier questionnaire, si TILT leur avait permis d'identifier les situations favorables à l'utilisation du smartphone, et quels étaient les critères qui caractérisaient ces situations. 74% des utilisateurs ont répondu favorablement à cette question (67% en modalité 1, 80% en modalité 2). Dans 85% des cas, il s'agit d'un moment particulier de la journée, dans 35% c'est un état de fatigue qui favorise l'utilisation du smartphone, dans 22% c'est un lieu particulier, l'humeur de l'utilisateur influence 22% d'entre eux à utiliser leur smartphone, et enfin pour 6% de ces utilisateurs, il s'agit de la présence d'une personne particulière de leur entourage. On remarque que l'utilisation du smartphone est particulièrement sensible à l'emploi du temps et à l'instauration de routines, comme nous avons pu le noter dans la section 6.1.

Nous avons aussi demandé dans chacun des questionnaires si le dispositif avait incité les testeurs à se fixer des objectifs, et si ces derniers l'avaient réellement fait (en demandant des exemples). Au début de l'expérimentation, ils sont 47% à indiquer que TILT les a incités à se fixer des objectifs de diminution de l'utilisation du smartphone, mais ne sont plus que 32% à la fin de l'expérimentation. En revanche, ils n'étaient que 16% (de l'ensemble des testeurs) à l'avoir réellement fait au moment du premier questionnaire alors qu'ils sont 26% au moment du second (11% en modalité 1, 40% en modalité 2).

Enfin, à plusieurs reprises dans les interviews, les utilisateurs ont exprimé le rôle qu'a joué TILT dans la prise de conscience des conséquences de l'utilisation du smartphone :

- « Ça fait réfléchir quand même. On passe un temps fou dessus alors qu'on n'en a pas forcément l'utilité, et plein d'autres choses à faire. »
- « J'essaie de m'appliquer des règles pour être un exemple pour mon fils ado. »
- « J'ai appris que j'ai perdu à peu près 3 jours dans ma vie depuis le début de l'expérimentation. »
- « Les jours de repos avec enfants, j'essayais de moins l'utiliser et d'être plus avec eux parce que je ne pensais pas passer autant de temps sur le téléphone. »
- « J'ai fait des efforts pour donner l'exemple aux enfants. »
- « Le message qui a le plus d'impact, c'est celui sur la conso sur 1 semaine, le nombre d'heures que ça constituait m'a montré le temps que je perds. »
- « Ça m'a alerté. J'utilisais quand même souvent et je ne regroupais pas les utilisations. »
- « Je ne m'en rendais pas compte mais le téléphone affecte ma concentration. »

6.4 Adaptation de la persuasion

La comparaison de l'**efficacité de TILT** (temps quotidien de consultation du smartphone / temps quotidien moyen de consultation du smartphone pendant la période de collecte) de chaque modalité montre que celle-ci **est significativement plus importante** (Welsh-ANOVA, $p = 0,03$) **lorsque le dispositif bénéficie de l'adaptation de la persuasion (seconde modalité), sur l'ensemble de la période de test**. La baisse moyenne du temps d'utilisation du smartphone est de 4% pour la première modalité, alors qu'elle est de 15% pour la seconde. Ce résultat confirme notre seconde hypothèse : l'adaptation de la persuasion renforce l'efficacité de TILT.

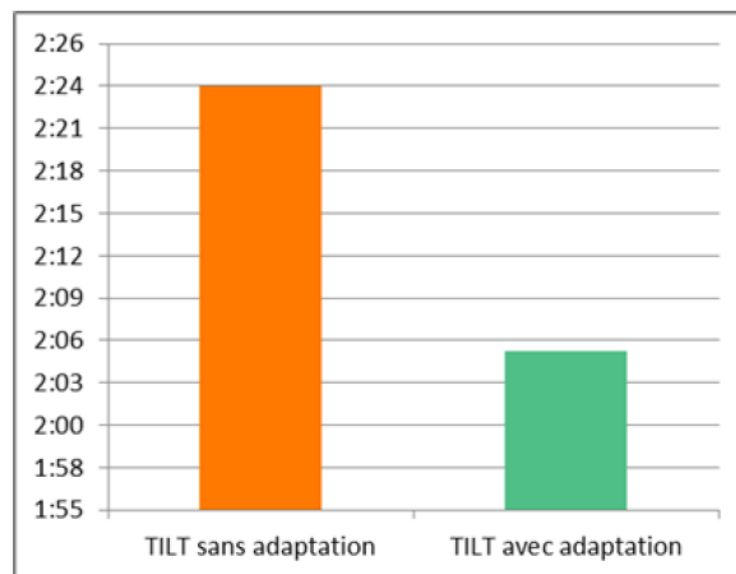
Lors des interviews, les participants de la seconde modalité ont en grande majorité manifesté leur intérêt pour la diversité des messages :

- « Avoir des messages variés est un plus. Sinon ce serait trop répétitif, surtout quand on ouvre souvent son portable. »

- « C'est bien d'avoir beaucoup de messages. Ça aide. »
- « C'était plutôt bien que les dessins n'étaient pas les mêmes. Par exemple, le petit cochon était motivant. »
- « Je lisais toujours les messages. Ils étaient intéressants. »

Différentes réponses aux questionnaires viennent aussi conforter une efficacité et un intérêt plus grand pour les participants de la seconde modalité. Par exemple, ils sont 80% à trouver TILT utile quand les testeurs privés d'adaptation ne sont que 55%. Dans le même esprit, 70% des membres de la seconde modalité disent percevoir l'influence de TILT sur leur utilisation du smartphone, contre 44% dans la première modalité. Enfin TILT dans sa version adaptative a incité 40% de ses testeurs à se fixer des objectifs liés à l'utilisation du smartphone, alors que la version non-adaptative ne l'a fait que pour une personne (11%).

Figure 6 : Temps d'utilisation du smartphone pendant la période de test pour chaque groupe de testeur



Certains participants de la première modalité ont aussi fait part d'un intérêt pour plus de variété dans les messages, parfois spontanément, parfois après qu'on leur ait expliqué le principe de la seconde modalité :

- « Varier les messages serait plus attractif. Il y aurait des objectifs, faire moins que la veille, des choses comme ça. »
- « Des messages différents auraient incité à regarder plus. »

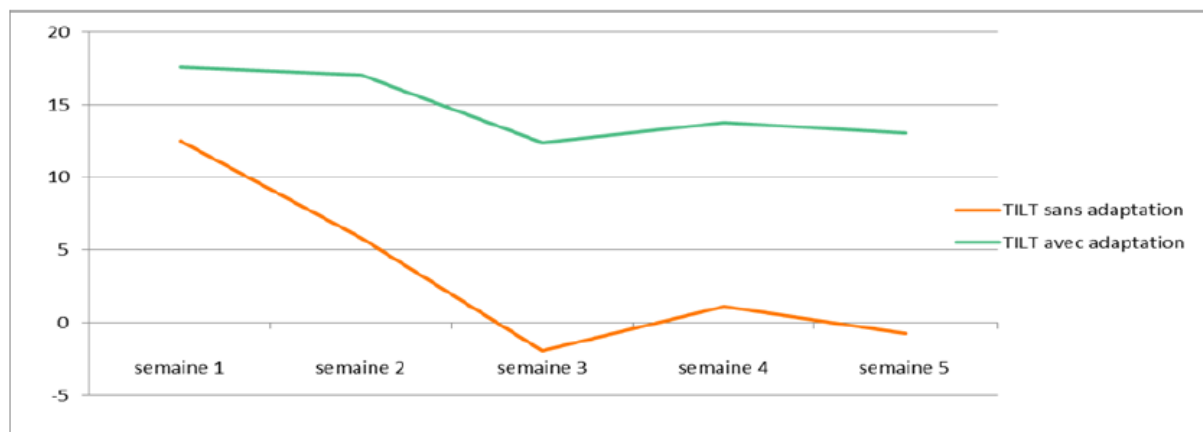
L'adaptation de la persuasion a aussi favorisé une utilisation et une approche différente de TILT. Par exemple, les membres de la première modalité marquent une nette préférence pour l'application face aux messages (78% préfèrent l'application), quand les membres de la seconde modalité sont majoritairement attachés aux messages (60% préfèrent les messages). Ces derniers sont même prêts, pour 40% d'entre eux, à se passer totalement de l'application, contre 11% dans la première modalité. La variété des messages, qui s'exprimait notamment à la fois en temps et en nombre de consultations dans la seconde modalité, favorise aussi plus d'éclectisme dans l'utilisation de TILT. 89% des participants assignés à la première modalité consultaient ainsi l'application uniquement en temps de consultation, alors que dans la seconde modalité ils ne sont que 50% dans ce cas (40% consultaient les deux sans distinction, et 10% uniquement le nombre de consultations). De même, au moment de se fixer des objectifs d'utilisation du smartphone, les membres de la seconde modalité ont utilisé la richesse des messages reçus pour l'exprimer : « atteindre moins de connexions par rapport à la veille », « essayer de diminuer mon temps de consultations le soir », « moins de téléphone le matin et en marchant ».

Concernant les messages eux-mêmes, les utilisateurs de la version adaptative de TILT ont trouvé leur nombre suffisant pour 80% d'entre eux. Pour les 20% restant, ils

étaient trop nombreux. Cependant, la manière dont ces messages étaient sélectionnés n'a permis à **aucun des participants de voir l'ensemble de ces messages**. Lors de l'interview, beaucoup ont fait part de leur étonnement lorsqu'on leur a présenté la liste de tous les messages qu'ils étaient susceptibles d'avoir vus : « je n'avais pas conscience qu'il y avait autant de visuels. Par exemple, je n'ai jamais vu ceux avec la fusée ». Un autre facteur qui a limité le nombre de messages perçus est l'utilisation d'un même pictogramme pour plusieurs messages différents (8 pictogrammes pour 22 messages différents) : « j'en ai pas vu autant. Je me focalisais sur les symboles ». Dans le questionnaire, 60% des participants indiquent aussi qu'ils ont parfois eu du mal à comprendre certains messages. Mais dans l'ensemble, **une large majorité (90%) souligne l'intérêt des visuels et de leur diversité**. D'ailleurs, au moment de choisir leur message préféré, ou celui qui les a le plus marqués, les utilisateurs aussi affichent leur diversité :

- « Le message le plus marquant est le nombre de consultations dans l'heure. Ça a eu un vrai impact sur mon utilisation. J'ai fait des efforts pour changer cela. »
- « J'ai appris que j'ai perdu à peu près 3 jours dans ma vie depuis le début de l'expérimentation. C'est ce qui m'a le plus marqué. »
- « Le plus important pour moi est le temps passé sur le jour même. »
- « La consommation sur une semaine est ce qui a le plus d'impact pour moi. Le nombre d'heures que ça constituait. »
- « Les plus percutants sont ceux avec le symbole warning. »
- « Celui qui compare avec la moyenne a le plus d'impact car il remet en question et la comparaison avec la veille m'encourage à faire des efforts. »

Figure 7 : Évolution de l'efficacité du dispositif au cours du temps pour chaque groupe de testeur.



Pour finir, l'un des objectifs de cette étude était d'étudier l'évolution de l'efficacité persuasive du principe d'auto-surveillance au cours du temps. Si l'efficacité de la persuasion est effectivement plus importante au début qu'à la fin de l'expérimentation pour les participants de la première modalité, nous avons voulu vérifier cela à l'aide d'une régression linéaire, avec comme variable exogène le nombre de jours d'expérimentation. Cependant, lorsqu'on l'applique sur l'ensemble de la durée de l'expérimentation, cette variable exogène n'est significative ni sur la première modalité ($p = 0,46$), ni sur la seconde ($p = 0,77$). En revanche, lorsque l'on se restreint à l'étude des deux premières semaines de test de la première modalité, cette variable exogène devient significative à 10% ($p = 0,07$) et explique environ 4% de la variance totale de la fonction « efficacité de TILT ». Cela semble peu, mais est comparable aux résultats obtenus par Harries (Harries et al., 2013) dans son étude de bActive, un système persuasif pour encourager à pratiquer la marche à pied.

7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

TILT est un dispositif d'aide à la régulation de l'usage du smartphone. Il est constitué d'une application qui donne accès aux statistiques (temps, nombre de consultations), et de

messages persuasifs (dans la barre de notification, dans un widget et dans un message « toast »).

TILT s'appuie sur le principe d'auto-surveillance en communiquant la mesure du comportement à l'utilisateur (Fogg, 2003). De plus, pour pallier l'usure de l'efficacité de ce principe dans le temps, nous proposons une adaptation des messages persuasifs pour apporter plus de variété et de pertinence à la persuasion.

Nous avons évalué TILT pendant 6 semaines, auprès de 19 utilisateurs répartis en 2 groupes (avec et sans adaptation). Avec cette expérimentation, nous avons pu mettre en évidence l'efficacité du principe d'auto-surveillance sur le comportement de consultation du smartphone, et celui de l'adaptation du message persuasif comme renfort de l'efficacité du principe d'auto-surveillance dans le temps.

Ces premiers résultats méritent approfondissement et reprise de l'évaluation. Nous souhaitons en particulier préciser l'adaptation en termes d'aspect (ce qu'il faut changer), de dimensionnement (combien d'alternatives) et de temporalité (quelle logique d'évolution) pour la durabilité de la persuasion. Il restera alors à l'expérimenter dans d'autres domaines et, si elle s'avère pertinente, à intégrer l'adaptation dans les méthodes de conception de la persuasion.

8 REFERENCES

- ▶ Arroyo, E., Bonanni, L., & Selker, T. (2005). *Waterbot: Exploring feedback and persuasive techniques at the sink*. 631.
- ▶ Choe, E. K., Lee, B., Kay, M., Pratt, W., & Kientz, J. A. (2015). *SleepTight: Low-burden, self-monitoring technology for capturing and reflecting on sleep behaviors*. 121–132.
- ▶ Choi, S., Jeong, H., Ko, M., & Lee, U. (2016). *LockDoll: Providing Ambient Feedback of Smartphone Usage within Social Interaction*. 1165–1172.
- ▶ Consolvo, S., Libby, R., Smith, I., Landay, J. A., McDonald, D. W., Toscos, T., LeGrand, L. (2008). *Activity sensing in the wild: A field trial of ubifit garden*. 1797.
- ▶ Cordeiro, F., Epstein, D. A., Thomaz, E., Bales, E., Jagannathan, A. K., Abowd, G. D., & Fogarty, J. (2015). *Barriers and Negative Nudges: Exploring Challenges in Food Journaling*. 1159–1162.
- ▶ Deloitte. (2016). Les Français et le smartphone en 2016 : une relation fusionnelle. <https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/usages-mobiles-2016.html>
- ▶ Denning, T., Andrew, A., Chaudhri, R., Hartung, C., Lester, J., Borriello, G., & Duncan, G. (2009). *BALANCE: Towards a usable pervasive wellness application with accurate activity inference*. 1–6.
- ▶ Fogg, B. J. (2003). *Persuasive technology: Using computers to change what we think and do*. Amsterdam ; Boston: Morgan Kaufmann Publishers.
- ▶ Harries, T., Eslambolchilar, P., Stride, C., Rettie, R., & Walton, S. (2013). Walking in the Wild – Using an Always-On Smartphone Application to Increase Physical Activity. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2013* (Vol. 8120, p. 19–36).
- ▶ Hiniker, A., Hong, S. (Ray), Kohno, T., & Kientz, J. A. (2016). *MyTime: Designing and Evaluating an Intervention for Smartphone Non-Use*. 4746–4757.
- ▶ Kappel, K., & Grechenig, T. (2009). « show-me »: *water consumption at a glance to promote water conservation in the shower*. 1.

- ▶ Kaptein, M. C., Markopoulos, P., Ruyter, B., & Aarts, E. (2010). Persuasion in ambient intelligence. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1(1), 43-56.
- ▶ Kay, M., Choe, E. K., Shepherd, J., Greenstein, B., Watson, N., Consolvo, S., & Kientz, J. A. (2012). *Lullaby: A capture and access system for understanding the sleep environment*. 226.
- ▶ King, A. L. S., Valença, A. M., Silva, A. C. O., Baczynski, T., Carvalho, M. R., & Nardi, A. E. (2013). Nomophobia: Dependency on virtual environments or social phobia? *Computers in Human Behavior*, 29(1), 140-144.
- ▶ Ko, M., Chung, K.-M., Yang, S., Lee, J., Heizmann, C., Jeong, J., ... Song, J. (2015). *NUGU: A Group-based Intervention App for Improving Self-Regulation of Limiting Smartphone Use*. 1235-1245.
- ▶ Laschke, M., Hassenzahl, M., Diefenbach, S., & Tippkämper, M. (2011). *With a little help from a friend: A shower calendar to save water*. 633.
- ▶ Löchtefeld, M., Böhmer, M., & Ganev, L. (2013). *AppDetox: Helping users with mobile app addiction*. 1-2.
- ▶ Mordant, C. (2017, septembre 1). Addiction, concentration, performances... ce que l'on sait (ou pas) des effets du smartphone. http://www.lemonde.fr/pixels/article/2017/01/09/addiction-concentration-performance-ce-que-l-on-sait-ou-pas-des-effets-du-smartphone_5059960_4408996.html
- ▶ Sarwar, M., & Soomro, T. R. (2013). Impact of Smartphone's on Society. *European journal of scientific research*, 98(2), 216-226.
- ▶ Snow, S., Buys, L., Roe, P., & Brereton, M. (2013). *Curiosity to cupboard: Self reported disengagement with energy use feedback over time*. 245-254.
- ▶ Tossel, C., Kortum, P., Shepard, C., Rahmati, A., & Zhong, L. (2015). Exploring Smartphone Addiction: Insights from Long-Term Telemetric Behavioral Measures. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 9(2), 37.
- ▶ Zulfikarpasic, A., Gallay, A.-L., & Hermite, D. (2016). *Digital Society Forum : mieux comprendre l'impact du numérique dans notre vie* (p. 24). http://www.bva.fr/data/sondage/sondage_fiche/1895/fichier_orange_dsf_-_sondage_sur_lattention_-_juin_16_-_rapport_publie2b523.pdf

9 BIOGRAPHIE



Anthony Foulonneau

est ingénieur de recherche à Orange Labs Rennes. Il a soutenu une thèse en informatique sur les technologies persuasives plastiques.



Gaëlle Calvary

est professeure en Informatique à Grenoble INP. Ses travaux portent sur la plasticité des Interfaces Homme-Machine (IHM). Son but est de fournir des modèles, méthodes et outils pour soutenir le développement d'IHM plastiques. L'approche qu'elle a le plus explorée est l'Ingénierie Dirigée par les Modèles. Elle défend l'unification des phases de conception, d'exécution et d'évaluation autour des notions de modèles et de transformations de modèles. Elle explore aujourd'hui la plasticité comme levier de persuasion technologique.



Eric Villain

est ingénieur de recherche pour les Orange Labs dans le domaine des interactions innovantes en mobilité (tactile, réalité augmentée, interfaces 3D). Il a piloté la conception de plusieurs projets dans le domaine de la médiation culturelle, comme le guide mobile des jardins de Versailles, ou le guide multimédia du musée du Louvre-Lens.

Un histogramme cylindrique à changement de forme pour afficher des prévisions de disponibilité de l'énergie

Maxime Daniel, Guillaume Rivière, Nadine Couture

► **To cite this version:**

Maxime Daniel, Guillaume Rivière, Nadine Couture. Un histogramme cylindrique à changement de forme pour afficher des prévisions de disponibilité de l'énergie. Journal d'Interaction Personne-Système, Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM), 2020, Volume 9, Number 1, Special Issue: PISTIL 2. hal-01884382v5

HAL Id: hal-01884382

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01884382v5>

Submitted on 18 Jan 2021

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.



Un histogramme cylindrique à changement de forme pour afficher des prévisions de disponibilité de l'énergie

Maxime DANIEL

Univ. Bordeaux, ESTIA, LaBRI,
UMR 5800
F-64210 Bidart, France

m.daniel@estia.fr

Guillaume RIVIÈRE

Univ. Bordeaux, ESTIA, LaBRI,
UMR 5800
F-64210 Bidart, France

Nadine COUTURE

Univ. Bordeaux, ESTIA, LaBRI,
UMR 5800
F-64210 Bidart, France

A shape-changing cylindrical chart that displays energy availability forecasts

Abstract. Optimizing microgrids' renewable-energy-consumption rates can be done by energy demand-side management. Shifting consumption at better moments is possible thanks to storage capacities. To explore this context, we consider a new practice aiming at shifting laptops' consumption on workplaces thanks to their batteries. This practice requires providing usage instructions and forecasts on renewable energy availability. In order to do this, we evaluated the usability of a shape-changing cylindrical histogram, during a two-day public event, by asking 90 visitors. We also tested three kinds of motion speed in peripheral vision in order to notify neither disturbing nor irritating, by requiring 30 participants in lab conditions. Our results show success rates over 90% for range and compare tasks, which are necessary to retrieve renewable energy production peaks. Our results show that an exponential speed is the best to design perceptible movements, whereas being as calm as a constant speed.

Keywords: Tangible User Interface, Shape-Changing Interface, Data Physicalization, Renewable Energy, Demand-Side Management, Energy Shifting, sustainability, notification.

Résumé. Un moyen d'optimiser le taux d'énergie renouvelable consommé sur les micro-réseaux est la gestion de la demande en énergie. Décaler la consommation aux moments propices est possible avec des moyens de stockage. Pour explorer ce contexte, nous envisageons une nouvelle pratique visant à décaler la consommation des ordinateurs portables sur le lieu de travail grâce à leurs batteries. Cette pratique nécessite de fournir des consignes d'usage et des prévisions de disponibilité des énergies renouvelables. Pour ce faire, nous avons évalué l'utilisabilité d'un histogramme cylindrique à changement de forme, lors d'un événement public sur deux jours, en interrogeant 90 visiteurs. Nous avons aussi testé trois profils de vitesse des mouvements en vision périphérique de sorte à notifier sans perturber ni agacer, en sollicitant 30 participants en condition de laboratoire. Nos résultats montrent des taux de réussite au-delà de 90% pour des tâches de recherche d'intervalle et de comparaison, nécessaires pour retrouver les pics de production d'énergie renouvelable. Nos résultats montrent qu'une vitesse exponentielle est la plus efficace pour rendre perceptible le mouvement tout en étant aussi peu perturbante qu'une vitesse constante.

Mots-clés : Interface utilisateur tangible, interface à changement de forme, physicalisation de données, énergies renouvelables, gestion de la demande, décalage de la demande, notification.

Édité par Pr. J.M.C. Bastien (Université de Lorraine) & Pr. G. Calvary (Univ. Grenoble Alpes)

1 INTRODUCTION

Depuis les crises pétrolières des années 1970, le secteur de l'énergie est un acteur majeur du développement durable : il cherche à passer d'un système dépendant de sources d'énergie à stocks épuisables, généralement polluantes, appelées sources d'énergies non-renouvelables (EnNR), comme le pétrole, le charbon, le gaz, à des sources d'énergie à flux inépuisables, généralement propres, appelées sources d'énergies renouvelables (EnR), comme le rayonnement solaire, le vent, la marée. Cependant, cette transition énergétique est lente et cette lenteur est en partie la conséquence d'une difficulté à intégrer massivement les énergies renouvelables aux réseaux électriques traditionnels. La production décentralisée et intermittente des énergies renouvelables en est la cause¹. Afin de faciliter l'intégration des énergies renouvelables, les réseaux électriques intelligents émergent². Le stockage d'énergie est la pierre angulaire des réseaux électriques intelligents (Dunn et al., 2011). Pour autant, les technologies actuelles de stockage de l'énergie sont économiquement et environnementalement coûteuses, ce qui freine le développement des réseaux électriques intelligents (Luo et al., 2015). En parallèle de ce lent changement en profondeur de l'infrastructure des réseaux électriques, des organisations telles que négaWatt appellent les citoyens à devenir acteurs de la transition énergétique³. Au travers des systèmes interactifs, l'Interaction Homme-Machine, en tant que discipline, a un rôle à jouer pour encourager les citoyens à devenir plus sobres et plus propres en énergie (Blevis, 2007 ; Mankoff et al., 2007).

La première approche en Interaction Homme-Machine fut impulsée par la « persuasion technologique », dans le but de concevoir des systèmes interactifs aidant à changer les attitudes ou les comportements, c'est-à-dire de « changer ce que les individus pensent et font » (Fogg, 1998 ; Fogg, 2002). DiSalvo et al. (2010) font remarquer que la « conscientisation ambiante » est une autre approche du développement durable « par » la conception de systèmes interactifs, en rendant conscient des conséquences du comportement en périphérie de l'attention (Weiser et Brown, 1996) par des informations intégrées à l'environnement de l'utilisateur (Pousman et Stasko, 2006). Dans la continuité de l'approche persuasive, Froehlich et al. (2010) proposent de concevoir des systèmes d'« éco-rétroinformations » (Eco-Feedback), s'appuyant sur la psychologie environnementale. Hamari et al. (2014a) constatent que la persuasion technologique utilise de plus en plus de fonctions de « ludification » en recourant à des mécanismes de jeu (Deterding et al., 2011) afin d'améliorer la capacité de persuasion des systèmes interactifs résultants. Negri et Senach (2015) baptisent ces systèmes interactifs des « systèmes ludo-persuasifs » (SLP). (Daniel et al., 2016) ont montré que les systèmes issus de cette approche, façonnés par la « persuasion technologique », se limitent majoritairement à la visualisation et à la supervision de la consommation d'énergie sur les espaces domestiques, cherchent principalement à réduire la consommation d'énergie (Pierce et Paulos, 2012a) et proposent majoritairement des interfaces graphiques de type applications mobiles ou des applications web sur terminaux mobiles (type smartphone). L'efficacité de ces systèmes semble plafonner entre 5 % à 20 % de réduction de consommation (Darby, 2006 ; Hazas et al., 2012 ; Vine et al., 2013).

Plusieurs articles remettent en cause cette approche visant la sobriété (c.-à-d. la réduction de la consommation) individuelle (Brynjarsdóttir et al., 2012 ; Knowles, 2013 ; Knowles et al., 2014b ; Knowles et al., 2014a), prenant même la tournure d'une controverse

¹ Intégration des EnRs, Commission de régulation de l'énergie (CRE),

<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=integrationenr-smart-grids>

² Comprendre les smartgrids, Commission de régulation de l'énergie (CRE),

<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=comprendre-les-smart-grids>

³ Les grandes lignes du scénario négaWatt 2017-2050, négaWatt,

https://negawatt.org/IMG/pdf/scenario-negawatt_2017-2050_brochure-12pages.pdf

(Rivière, 2019). Une autre approche est suggérée : accompagner de nouvelles pratiques partagées socialement (Pierce et al., 2013 ; Knowles et al., 2018). Cette nouvelle approche est encore peu explorée et la forme des systèmes pouvant y contribuer reste encore à déterminer.

Dans cet article, nous nous focalisons sur la propreté énergétique (c.-à-d. consommer mieux, consommer « vert ») sur les espaces publics et collectifs, dans le contexte de micro-réseaux⁴. Pour ce faire, nous imaginons une nouvelle pratique sur le lieu de travail visant à décaler la consommation d'énergie aux moments les plus propices en exploitant un moyen de stockage : décaler la consommation d'un ordinateur portable vers les pics de production d'énergie renouvelable grâce à sa batterie. Aussi, nous présentons et étudions un nouvel affichage des prévisions de disponibilité de l'énergie « verte » susceptible de favoriser la mise en œuvre par un groupe de personnes de nouvelles pratiques de décalage de la consommation : un diagramme cylindrique à changement de forme.

Le plan de cet article est le suivant. La section 2 présente la pratique visée de décalage de la demande en énergie sur le lieu de travail. Ensuite, dans la section 3, une revue systématique de la littérature en Interaction Homme-Machine pour la maîtrise de l'énergie analyse les systèmes existants au regard de cette nouvelle pratique. La section 4 discute des travaux relatifs aux affichages lisibles à 360 degrés sur les espaces publics et aux interfaces à changement de forme. La section 5 présente le diagramme cylindrique à changement de forme favorisant la pratique de décalage de la demande en énergie. La section 6 explique comment présenter les données de prévision de production d'énergie renouvelable avec cet affichage. Les sections 7 et 8 décrivent deux études utilisateur sur l'utilisabilité du diagramme pour retrouver les pics de production et pour notifier les variations de production. Enfin, la section 9 conclut et indique des pistes pour des travaux futurs.

LES APPORTS DE CETTE RECHERCHE :

- ✓ Une pratique de décalage de consommation testable avec des moyens de stockage déjà répandus
- ✓ Un nouveau mécanisme d'anneau extensible illuminé
- ✓ Un prototype fonctionnel d'histogramme cylindrique à changement de forme
- ✓ Évaluer la recherche d'information avec des histogrammes physiques
- ✓ Optimisation de la vitesse de mouvements lors de la notification en vision périphérique

2 DECALER LA DEMANDE EN ENERGIE

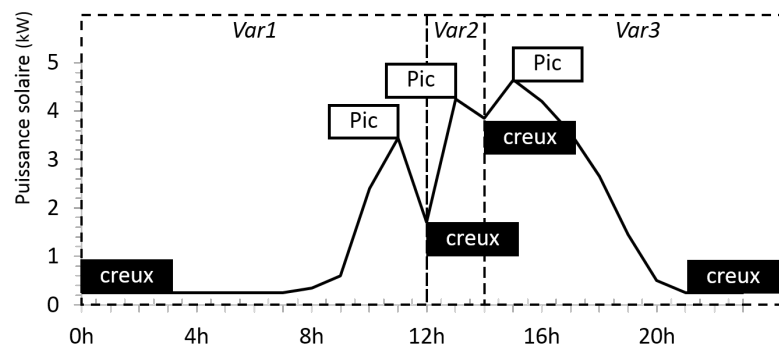
Pierce et Paulos (2012a) constatent que les systèmes interactifs pour la maîtrise de l'énergie sont principalement conçus pour promouvoir la sobriété énergétique (c.-à-d. consommer moins) sur les espaces domestiques. Ils appellent les chercheurs à s'intéresser à d'autres stratégies de maîtrise de l'énergie telle que la propreté énergétique (c.-à-d. consommer mieux, consommer « vert ») et à promouvoir ces stratégies sur d'autres espaces sociaux que le foyer, tel que le lieu de travail. Appliquer une stratégie de propreté énergétique au travail telle que décaler la demande en énergie vers les moments de disponibilité des énergies renouvelables peut s'avérer difficile : quand peu d'énergie renouvelable est disponible sur le réseau électrique, les employés peuvent ne pas avoir d'autre choix que de consommer de l'énergie (non renouvelable) pour accomplir leur activité professionnelle quotidienne. Kjeldskov et al. (2015) mentionnent par exemple que décaler la demande en énergie dans les foyers était plus réaliste avec des équipements pouvant être séparés des routines quotidiennes telles que mettre en route le lave-linge, mettre en route le lave-vaisselle, ou brancher des chargeurs de batteries. En 2014, 66 % des entreprises des 28 états membres de l'Union Européenne avaient équipé leurs employés de technologies de l'information et de la communication (TICs) telles que des ordinateurs portables, des

⁴ Les micro-réseaux sont des lieux de production, de stockage, de consommation et de partage local de l'énergie.

smartphones et d'autres appareils mobiles⁵. Les appareils mobiles tels que les ordinateurs portables fonctionnent sur batterie et ouvrent l'opportunité de décaler leur demande en énergie sans pour autant interrompre l'activité des employés nécessitant du calcul informatique.

Suivant les recommandations de Pierce et Paulos (2012a), nous souhaitons concevoir et étudier un système interactif pour encourager les employés à optimiser la part d'énergie renouvelable dans l'alimentation de leur ordinateur portable au travail. La production d'énergie renouvelable pendant la journée de travail est rarement une seule variation mais plutôt une succession de variations. Une variation commence depuis un niveau minimum de disponibilité de l'énergie (minimum local ou global), qui augmente jusqu'à atteindre un maximum (local ou global), puis décroît jusqu'au minimum suivant (local ou global). Chaque variation est une opportunité pour décaler, grâce à sa batterie, la consommation d'un ordinateur portable vers le moment de pic de production des énergies renouvelables (voir un profil de journée sur la figure 1).

Figure 1. Trois variations de production d'énergie, par l'installation de 5 kW de panneaux photovoltaïques sur le toit de notre école, lors d'une journée d'été partiellement nuageuse (ESTIA, Bidart, France).



Dans un premier temps, nous avons observé la pratique actuelle de charge d'un ordinateur portable au travail. Puis, nous avons développé un outil en ligne permettant de simuler les charges et décharges d'un ordinateur portable afin de définir des consignes appropriées pour décaler la charge d'un ordinateur portable au travail favorisant une attitude éco-responsable.

2.1 Pratique actuelle de charge d'un ordinateur portable au travail

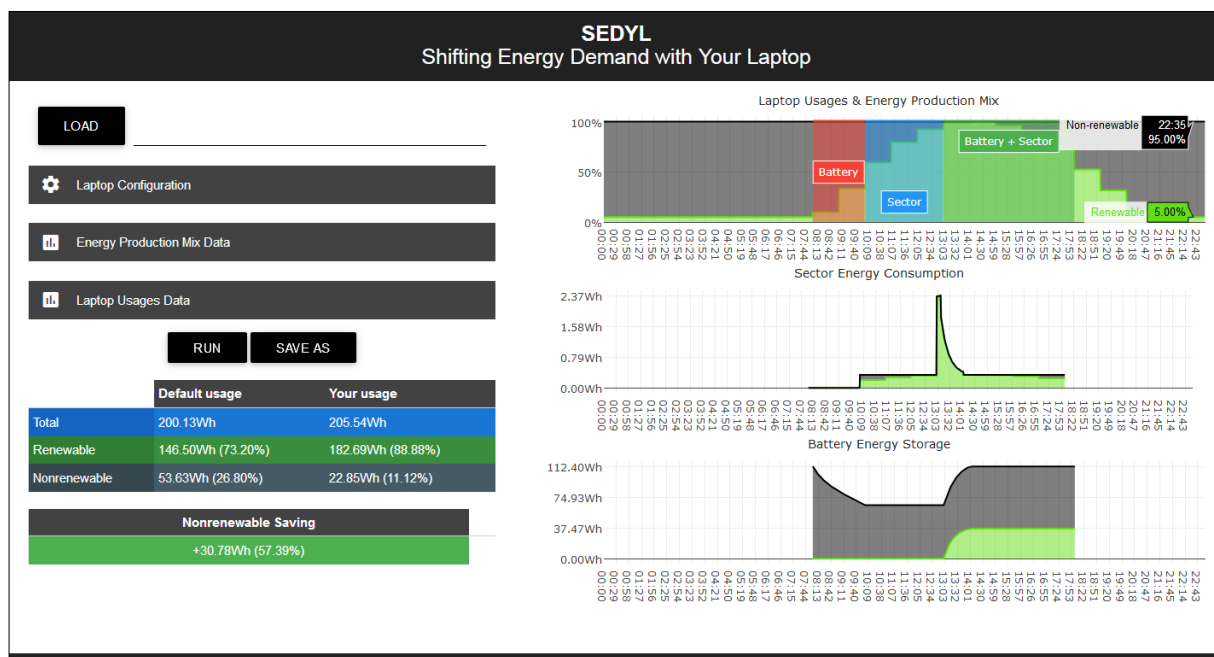
Pour encourager les employés à décaler la charge de leur ordinateur portable, il est nécessaire d'identifier une pratique qui sera appropriée au contexte professionnel. Dans un premier temps, nous avons caractérisé la pratique de charge d'un ordinateur portable la plus commune sur le lieu de travail. Pour cela, nous avons interrogé 22 personnes (8 femmes, 14 hommes) de notre laboratoire. Parmi ces 22 personnes, 18 d'entre elles déclarent utiliser un ordinateur portable au travail. Parmi ces 18 personnes, 15 d'entre-elles déclarent garder leur ordinateur portable souvent ou toujours branché au secteur (même lorsque la batterie est complètement chargée). Nous considérons cette pratique comme la pratique par défaut pour décaler la charge de la batterie d'un ordinateur portable au travail.

⁵ Statistiques sur la société de l'information - entreprises, Eurostat, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Information_society_statistics/fr

2.2 Simuler le décalage de la charge d'un ordinateur portable

Par la suite, les auteurs ont développé SEDYL⁶ (« Shifting Energy Demand with Your Laptop »), un outil en ligne permettant de simuler le décalage de la charge d'un ordinateur portable. L'outil permet de comparer une pratique donnée avec la pratique par défaut précédemment identifiée. L'outil implémente un modèle dynamique de batterie lithium-ion (Tremblay et Dessaint, 2009) et prend en paramètres : la configuration de l'ordinateur portable ; le mix de la production électrique⁷ ; et les usages de l'ordinateur portable. L'outil calcule la quantité d'énergie non-renouvelable non consommée par la pratique donnée par rapport à la pratique par défaut. En revanche, l'outil ne calcule pas l'usure induite de la batterie (p. ex., l'impact de la profondeur de (dé)charge sur la durée de vie de la batterie). La figure 2 présente une capture d'écran de l'outil : un panneau de paramétrage et de résultats (partie gauche) et un panneau de visualisation de la journée correspondante (partie droite). Les paramètres sont : les caractéristiques de l'ordinateur et de sa batterie (consommation, profil de charge, profil de décharge, rendement), le profil de la journée (taux EnR heure par heure) et l'alimentation (exclusivement sur batterie, exclusivement sur secteur, sur secteur avec batterie insérée). Les résultats de simulation sont le total d'énergie consommée, dont les sous-totaux d'EnNR et d'EnR, ainsi que le gain par rapport au comportement par défaut (alimentation toujours sur secteur). Trois visualisations sont affichées : la première présente l'évolution du mix de production énergétique (taux EnNR et taux ENR) et les configurations d'alimentation de l'ordinateur ; la deuxième présente la consommation tirée au secteur (totale et dont EnR) ; et la troisième présente le niveau de charge de la batterie (totale et dont taux EnR).

Figure 2. Capture d'écran de SEDYL, un simulateur en ligne de décalage de la charge d'une batterie.



2.3 Consignes pour décaler la charge d'un ordinateur portable

Dans notre exploration des pratiques avec l'outil SEDYL, nous avons utilisé la configuration d'un ordinateur portable de notre laboratoire : un ordinateur portable Lenovo ThinkPad T540p d'une puissance nominale de 20 W équipé d'une batterie lithium-ion à 6

⁶ <http://itame.pythonanywhere.com/CairnFORM/Sedy/>

⁷ La part du thermique, du nucléaire ou encore de l'hydraulique et des autres énergies renouvelables dans la production d'électricité (p. ex., de 14h à 15h, 20 % d'énergie renouvelable produite contre 80 % d'énergie non-renouvelable).

cellules (4400 mAh, 11,1 V). Pour le mix de la production électrique, nous avons utilisé comme jeu de données des courbes de production d'énergie solaire de l'installation photovoltaïque de notre laboratoire (d'une capacité de 5 kW), mesurées et enregistrées entre le 13 janvier 2012 et le 12 janvier 2013 (ESTIA, Bidart, France). À partir de ces courbes, nous avons simulé des pratiques en combinant trois usages différents de l'ordinateur portable (p. ex., de 12h à 13h, ordinateur sur batterie ; de 13h à 14h, ordinateur sur secteur uniquement ; de 14h à 15h, ordinateur sur batterie et secteur). De manière empirique, à partir de quatre profils de journées types (obtenus en appliquant l'algorithme de partitionnement de données KmIShape (Genolini et al., 2016) sur notre jeu de données), puis par une trentaine de simulations avec SEDYL pour déterminer le seuil de débranchement (prenant en compte la courbe de charge et de décharge, sur les 305 variations de notre jeu de données), nous avons déterminé les trois consignes suivantes pour décaler de manière optimale, c'est-à-dire en utilisant le maximum d'énergie renouvelable, la charge d'un ordinateur portable. Les trois consignes sont les suivantes :

- En attendant un pic d'énergie renouvelable, travailler sur batterie et lorsqu'elle est déchargée à 50 %, enlever la batterie et travailler sur secteur ;
- Pendant un pic d'énergie renouvelable, charger la batterie en se branchant au secteur ;
- Après le dernier pic d'énergie renouvelable, continuer à charger la batterie en restant branché au secteur jusqu'à la fin de la journée.

Afin de concevoir et mettre en œuvre un système interactif pour aider au décalage de la charge des ordinateurs portables au travail, nous avons réalisé une revue de la littérature sur les systèmes interactifs pour la maîtrise de l'énergie.

3 REVUE DE SYSTEMES INTERACTIFS DE MAITRISE DE L'ENERGIE

Dans leur état de l'art sur les recherches en Interaction Homme-Machine (IHM) en relation avec l'énergie, Pierce et Paulos (2012a) constatent que les systèmes interactifs étudiés cherchent principalement à promouvoir la sobriété énergétique sur les espaces domestiques en visualisant ou supervisant la consommation d'énergie. Ils soulignent que peu de travaux s'intéressent à d'autres espaces, comme le lieu de travail ou les lieux publics (cafés, parcs, écoles, musées). Les deux états de l'art de Hamari et al. sur la persuasion technologique (2014a) et un autre sur la ludification (2014b) extraient respectivement 52 systèmes et 24 systèmes de la littérature. Ils analysent les méthodes utilisées pour évaluer la capacité de persuasion (quantitative, qualitative, mixte), les résultats obtenus de ces évaluations (positif, partiellement positif, négatif ou autre), les fonctions implantées (ex. : accomplissement, retours d'information, suggestion), les effets psychologiques recherchés (ex. : engagement, motivation, conscience) et les domaines ciblés (ex. : santé, écologie). La revue de la littérature sur la persuasion technologique dédiée à la maîtrise de l'énergie de Cano et al. (2015) extrait 10 systèmes du domaine. Ils les analysent pour définir un espace de classification composé de six dimensions : domaine, fonction de persuasion, représentation, interaction, échelles et dispositifs.

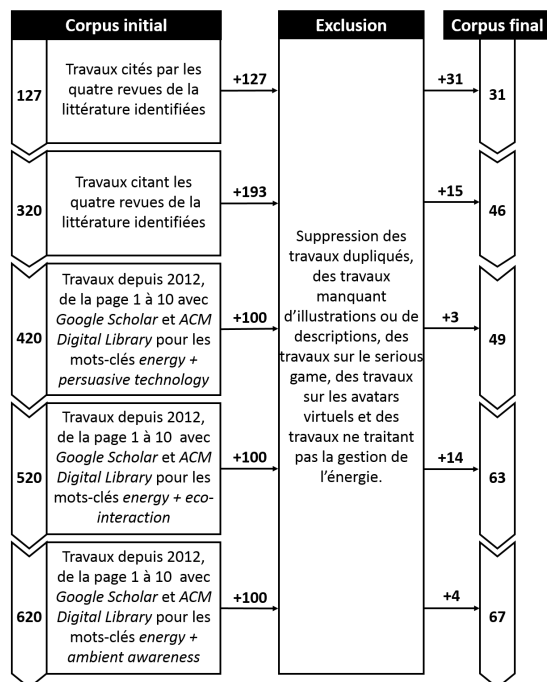
Notre travail de revue de la littérature des systèmes pour la maîtrise de l'énergie complète les revues précédentes car nous analysons la conception et la mise en œuvre des systèmes pour la sobriété et la propreté énergétique au regard de quatre composantes : le contexte, le système (données et fonctions), l'interface et l'utilisateur.

Dans cette section, nous expliquons tout d'abord comment nous avons constitué le corpus de 67 systèmes interactifs dédiés à la maîtrise de l'énergie, puis nous présentons les critères d'analyse et la classification qui en résulte. Enfin, nous analysons cette classification au regard de la pratique que nous ciblons : en exploitant un moyen de stockage, décaler la consommation d'énergie aux moments les plus propices de la journée permettant de consommer le maximum d'énergie renouvelable produite localement.

3.1 Méthode d'identification du corpus

En suivant une approche systématique de revue de la littérature, comme réalisé par (Johnson et al., 2016) pour la ludification en santé, nous avons constitué un corpus de 67 systèmes interactifs pour la maîtrise de l'énergie. Les 67 systèmes interactifs identifiés proviennent de la littérature scientifique entre 2005 et 2017. Dans un premier temps, nous avons rassemblé les travaux citant et cités par quatre revues de la littérature (Cano et al., 2015 ; Hamari et al., 2014b ; Hamari et al., 2014a ; Pierce et Paulos, 2012a). Puis, nous avons utilisé les banques de données « Google Scholar » et « ACM Digital Library » pour rechercher des travaux depuis 2012 combinant les mots-clés « energy », « persuasive technology », « eco-feedback » et « ambient awareness », nous avons conservé les dix premières pages de chaque résultat de recherche. Nous avons ainsi identifié 620 travaux. Pour obtenir le corpus final de 67 systèmes interactifs, nous avons conservé les travaux traitant de la maîtrise de l'énergie, enlevé les travaux dupliqués et rejeté les travaux sur les jeux sérieux et les avatars (car ces approches sont différentes de celles que nous souhaitons adopter), ainsi que ceux dont le système était insuffisamment décrit ou illustré. La majorité des systèmes interactifs identifiés proviennent d'articles de conférences et de revues scientifiques avec comité de lecture et évaluation par les pairs⁸ (95,5 % ; 64 sur 67). Seuls trois systèmes interactifs proviennent de deux mémoires de master (4,5 % ; 3 sur 67). Le processus d'identification du corpus est illustré par la figure 3.

Figure 3. Processus d'identification du corpus.



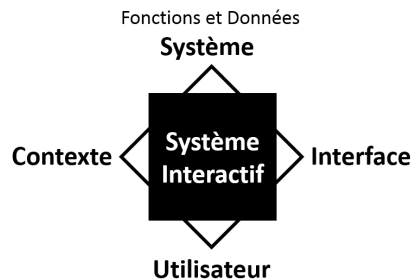
3.2 Critères d'analyse du corpus

Coutaz (2013) propose d'évaluer les systèmes interactifs en termes de conformité fonctionnelle (relative au « système »), conformité interactionnelle (relative à l'« interface »),

⁸ Un peu moins des deux tiers des travaux (64,2 % ; 43 sur 67) proviennent de conférences et de journaux ACM (CHI, DIS, NordiCHI, OzCHI, UbiComp, Persuasive, AVI, C&C, C&T, ChineseCHI, Ergo'IHM, IUI, MUM, and TOCHI). Environ un tiers des travaux (31,3 % ; 24 sur 67) proviennent de conférences et journaux IEEE (CTS, MultiMedia, SustainIT, TVCG), Springer (INTERACT, SouthCHI, Aml, AI&Society, EnviroInfo, PUC, SID), Elsevier (Applied Energy, ECIS, Energy and Buildings, Energy), IARIA, BCS IWC, and DRS.

conformité hédoniste (relative à l'« utilisateur ») et conformité contextuelle (relative au « contexte »). Nous considérons donc dans ce travail un système interactif comme la composition de quatre entités interdépendantes : le « contexte », le « système » (données et fonctions), l'« interface » et l'« utilisateur ». À partir de cette définition, nous organisons un cadre d'analyse, illustré à la figure 4, que nous utilisons dans la suite pour décrire les systèmes interactifs, comme la composition de quatre entités interdépendantes que sont : le système (les données et les fonctions), l'interface, l'utilisateur et le contexte.

Figure 4. Les quatre composantes d'un système interactif.



Pour analyser le corpus, nous avons défini 16 critères organisés en cinq classes.

3.2.1 La classe du contexte

Cette première classe informe sur le contexte qui entoure le système interactif. Nous avons défini quatre critères :

- La « sobriété énergétique » informe sur les stratégies de sobriété énergétique adoptées par le système interactif. Trois stratégies apparaissent : réduire ou mutualiser la consommation d'énergie (p. ex., réduire la luminosité des écrans), décaler la consommation d'énergie vers les heures creuses (p. ex., mettre en route le lave-linge pendant le creux global de demande en énergie de 0h et 7h) et stocker de l'énergie pendant les heures creuses pour la consommer ou la partager ultérieurement (p. ex., stocker de l'énergie pendant le creux global de demande en énergie de 0h à 7h pour lancer le lave-linge plus tard dans la journée).
- La « propreté énergétique » informe sur les stratégies de propreté énergétique adoptées par le système interactif. Deux stratégies apparaissent : décaler la consommation d'énergie vers les heures vertes (p. ex., mettre en route le lave-vaisselle pendant le pic local de production d'énergie solaire de 12h à 14h) et stocker de l'énergie pendant les heures vertes pour la consommer ou la partager ultérieurement (p. ex., stocker de l'énergie pendant le pic local de production d'énergie solaire de 12h à 14h pour mettre en route le lave-vaisselle plus tard dans la journée).
- L'« espace social » informe sur l'espace social sur lequel le système interactif cherche à opérer : espace non spécifique, espace domestique, espace collectif (p. ex., lieu de travail) et espace public (p. ex., gare, métro).
- Le « contrôle » informe sur le contrôle des équipements par le système interactif : manuel (p. ex., l'utilisateur éteint la lampe manuellement lorsqu'il quitte la pièce), semi-automatique (p. ex., l'utilisateur éteint la lampe à distance avec son smartphone lorsqu'il quitte la pièce) et automatique (p. ex., un système domotique éteint automatiquement la lampe lorsque l'utilisateur quitte la pièce).

3.2.2 La classe des données

Cette deuxième classe informe sur les données mesurées et utilisées par le système interactif. Nous avons défini trois critères :

- Le « type » définit la nature des données énergétiques mesurées et utilisées. Nous distinguons cinq types de données qui sont les données de consommation d'énergie, de

production d'énergie, de stockage d'énergie, de distribution d'énergie et d'économie d'énergie.

- L'« échelle temporelle » informe sur la position des données dans le temps. Nous distinguons les données historiques, instantanées et prévisionnelles.
- L'« échelle spatiale » informe sur l'espace ou le territoire dont proviennent les données. Nous distinguons les données relatives à un appareil, une pièce, un bâtiment, un voisinage, une ville et un pays.

3.2.3 La classe des fonctions

Cette troisième classe informe sur le noyau fonctionnel des systèmes interactifs du corpus. Trois critères, ou /types de fonction, sont examinés :

- Les « fonctions de matérialisation » de Pierce et Paulos (2010) : la collecte, la possession, le partage et l'activation de l'énergie.
- Les neuf « fonctions de persuasion » ont été identifiées dans le corpus et sont citées en relation avec le conditionnement opérant⁹ de Skinner (1976) : la rétroaction immédiate (c.-à-d. retour d'information immédiat sur les conséquences du comportement), la rétroaction cumulée (c.-à-d. retour d'information sur les conséquences du comportement cumulées depuis une durée déterminée), la comparaison temporelle (c.-à-d. comparer les conséquences du comportement à différents moments), la comparaison spatiale (c.-à-d. comparer les conséquences du comportement à différents endroits), la comparaison sociale (c.-à-d. comparer les conséquences du comportement avec une ou plusieurs normes sociales), l'évaluation (c.-à-d. positionner les conséquences du comportement sur une échelle à intervalle borné allant des conséquences les moins souhaitées aux conséquences les plus souhaitées), la simulation (c.-à-d. simuler le comportement à différents moments et endroits pour observer ses conséquences), la prévision (c.-à-d. projeter le comportement dans le futur pour observer ses conséquences) et la suggestion (c.-à-d. recommander un changement de comportement afin d'obtenir des conséquences plus souhaitables).
- Les « fonctions de ludification » se réfèrent aux mécanismes de jeu implantés dans le système interactif. À partir du corpus et de l'état de l'art sur la ludification réalisé par Hamari et al. (2014b), nous identifions huit mécanismes de jeu différents : le challenge (c.-à-d. fixer un objectif individuel ou de groupe pour une durée déterminée), la compétition (c.-à-d. mettre en concurrence des individus ou des groupes sur un même objectif pendant une durée plus ou moins déterminée), la collaboration (c.-à-d. permettre à deux individus ou plus de travailler ensemble pour atteindre un même objectif), la progression (c.-à-d. suivre les avancements de l'individu ou du groupe vers l'objectif à atteindre), la récompense (c.-à-d. valoriser immédiatement la réalisation de l'individu et du groupe), l'accomplissement (c.-à-d. valoriser publiquement l'ensemble des réalisations de l'individu et du groupe), la personnalisation (c.-à-d. s'adapter aux caractéristiques de l'individu ou du groupe) et l'interaction sociale (c.-à-d. permettre aux individus et aux groupes d'échanger entre eux).

3.2.4 La classe de l'interface

Cette quatrième classe informe sur les moyens mis en œuvre par les systèmes interactifs du corpus pour communiquer avec l'utilisateur et lui permettre de contrôler le système. Quatre critères sont retenus :

- Le « type » définit le type de l'interface utilisateur employée par le système interactif. Nous dégageons trois types d'interface (non exclusifs) : les interfaces graphiques (c.-à-d. basées pixels, p. ex., smartphone, tablette, ordinateur personnel, projecteur,

⁹ Le conditionnement opérant est un modèle en psychologie comportementale qui affirme que le comportement est contrôlé par ses conséquences.

application web), les interfaces physiques (c.-à-d. basées objets physiques, p. ex., objet du quotidien revisité, objet connecté) et les interfaces ambiantes (c.-à-d. basées conscientisation ambiante). Ces types ne sont pas mutuellement exclusifs : une interface ambiante peut aussi être graphique ou physique.

- Le « dispositif » d'entrée/sortie informe sur le dispositif d'accueil du système interactif. Nous distinguons les appareils mobiles (p. ex., smartphone, tablette, PC portable), les applications web, les appareils de projection, les objets connectés et les objets du quotidien revisités.
- L'« accessibilité » informe sur les conditions d'accès à l'interface du système interactif. À partir du corpus, nous distinguons les interfaces mobiles généralement accessibles par un unique individu au travers d'un appareil mobile et les interfaces fixes généralement accessibles par plusieurs individus au travers d'un appareil fixe sur un espace non spécifique, domestique, collectif ou public.
- La « visibilité » définit la portée de l'interface du système interactif. Les interfaces employées par les systèmes interactifs du corpus sont visibles à l'échelle d'un individu, d'une pièce, d'un bâtiment ou d'une ville.

3.2.5 La classe de l'utilisateur

Cette cinquième et dernière classe informe sur les différents utilisateurs de l'interface et sur la nature de leurs interactions avec l'interface. L'utilisation du système interactif est classée selon deux critères :

- Un utilisateur « pro-actif » doit manipuler l'interface pour accéder au noyau fonctionnel du système. Nous distinguons quatre utilisateurs différents que sont l'individu, le groupe, la communauté et la société.
- Un utilisateur « passif » ne manipule pas l'interface pour accéder au noyau fonctionnel. C'est plutôt l'interface qui va accéder au noyau fonctionnel du système et communiquer vers l'utilisateur.

3.3 Classification du corpus

En passant les 67 systèmes interactifs du corpus au travers des 16 critères précédemment définis, nous avons obtenu la matrice présentée en figure 5. Une application web a été développée permettant une consultation interactive par filtres de cette matrice. Elle est accessible en ligne¹⁰.

3.4 Analyse du corpus

Dans cette section, nous analysons la matrice au regard du cas de la pratique ciblée : maximiser la part d'énergie renouvelable dans l'alimentation des ordinateurs portables au travail en appliquant des consignes de chargement et utilisation d'un stockage d'énergie (la batterie).

3.4.1 Contexte

Seulement treize systèmes interactifs du corpus (19,4 % ; 13 sur 67) sont conçus pour promouvoir la propreté énergétique. Les caractéristiques du contexte de ces treize systèmes interactifs sont distinguées en vert sur le diagramme de la figure 6. Tandis que onze aident les utilisateurs à décaler, soit manuellement (11 sur 11), soit (semi-)automatiquement (3 sur 11), leur consommation d'énergie vers les heures de pic d'énergie renouvelable (9 sur espaces domestiques et 2 sur espace collectif ou public), seulement deux aident à stocker, manuellement, de l'énergie renouvelable pendant les heures vertes (sur espace

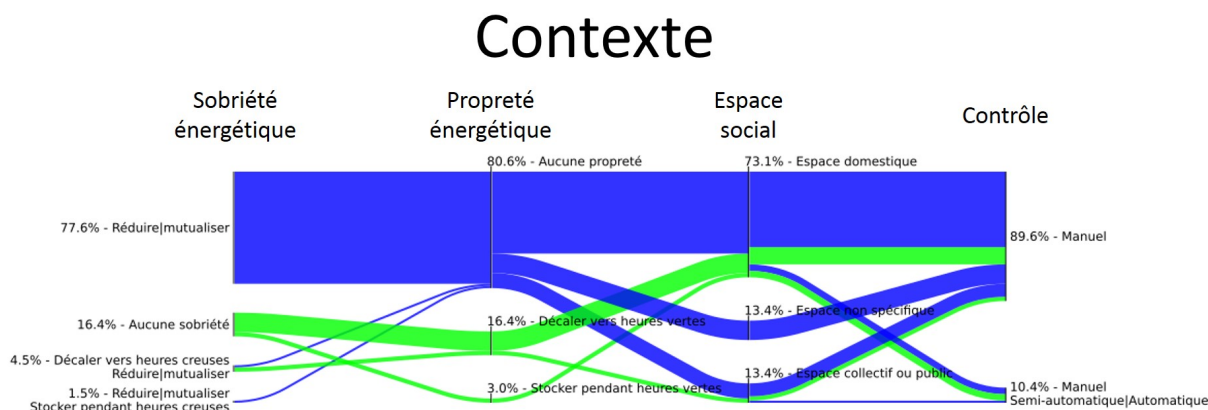
¹⁰ <http://itame.pythonanywhere.com/Classification/>

domestique). Aucun de ces systèmes ne cible la consommation des ordinateurs portables sur le lieu de travail.

Figure 5. Matrice discriminant les 67 systèmes interactifs du corpus selon 73 caractéristiques provenant de 16 critères organisés en cinq classes. Les 67 références bibliographiques sont listées en annexe.

	A. Sobriété énergétique				E. Type				H. Matérialisation				J. Ludification				K. Type				M. Accessibilité				O. Proactivité			
	1. Réduire ou mutualiser				1. Consommation d'énergie				1. Activation d'énergie				1. Challenge				1. Graphique				1. Mobile				1. Individu			
	2. Décaler vers creuses				2. Production d'énergie				2. Collection d'énergie				2. Compétition				2. Physique				2. Fixe sur espace domestique				2. Famille			
3. Stocker vers creuses				3. Stockage d'énergie				3. Possession d'énergie				3. Collaboration				3. Ambiante				3. Fixe sur espace collectif				3. Groupe				
B. Propreté énergétique				F. Echelle temporelle				I. Persuasion				L. Visibilité				N. Dispositif				P. Passivité								
1. Décaler vers vertes				1. Historiques				1. Prédiction				1. Individu				1. Pièce				1. Individu								
2. Stocker pendant vertes				2. Instantanées				2. Suggestion				2. Pièce				2. Pièce				2. Famille								
C. Espace social				3. Prévisionnelles				3. Evaluation				3. Bâtiment				3. Bâtiment				3. Groupe								
1. Espace non spécifique				G. Echelle spatiale				4. Simulation				4. Ville				4. Ville				4. Communauté								
2. Espace domestique				1. Appareil				5. Feedback immédiat				5. Comparaison temporelle				5. Comparaison spatiale				5. Société								
3. Espace collectif				2. Pièce				6. Feedback cumulé				6. Personnalisation				6. Personnalisation				5. Société								
4. Espace public				3. Bâtiment				7. Comparaison temporelle				7. Accomplissement				7. Récompense												
D. Contrôle				4. Voisinage				8. Comparaison spatiale				8. Récompense																
1. Manuel				5. Ville				9. Comparaison sociale																				
2. Semi-automatique				6. Pays																								
3. Automatique																												
	CONTEXTE				DONNÉES				FONCTIONS				INTERFACE				UTILISATEUR											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P												
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5									
7,000 oaks and counting ¹																												
Abstract Ambient ²																												
Agent B ³																												
AgentSwitch ⁴																												
Ambient Battery Level ⁵																												
ArchExpression ⁶																												
BizWatts ⁷																												
BoE ⁸																												
Conversation WashMachine ⁹																												
Coralog ¹⁰																												
Customisable dashboard ¹¹																												
E-point ¹²																												
eAMBI ¹³																												
Eco-Aware CoffeeMaker ¹⁴																												
EcoFeedback ¹⁵																												
Ecosphere ¹⁶																												
eForecast ¹⁷																												
Energy AWARE Clock ¹⁸																												
Energy Local Lamp ¹⁹																												
Energy Orb ²⁰																												
Energy Plan ²¹																												
Energy Puppet ²²																												
Energy Tree ²³																												
EnergyDub ²⁴																												
EnergyLife ²⁵																												
EnergySavings ²⁶																												
EnergyWiz ²⁷																												
FigureEnergy ²⁸																												
FlO ²⁹																												
Flower Lamp ³⁰																												
FORE-Watch ³¹																												
Handy Feedback ³²																												
HeatDia ³³																												
HEMS ³⁴																												
Housing Cooperative Energy App ³⁵																												
ID-O ³⁶																												
Lightning Feedback Display ³⁷																												
Limit Eco-Feedback ³⁸																												
Local Energy Indicator ³⁹																												
Mobile ECD ⁴⁰																												
MyLocalEnergy ⁴¹																												
Nuage Verif ⁴²																												
Personal Energy Dashboard ⁴³																												
Personalized Eco-feedback ⁴⁴																												
POEM ⁴⁵																												
Power-Aware Cord ⁴⁶																												
PowerAdvisor ⁴⁷																												
PowerSocket ⁴⁸																												
POWERViz ⁴⁹																												
Pull-me-out Power Cord ⁵⁰																												
Reveal-iti ⁵¹																												
Share AWARE Light ⁵²																												
Stationary ECD ⁵³																												
StationENR ⁵⁴																												
TarifAgent ⁵⁵																												
Temperature Calendar ⁵⁶																												
Tiree Energy Pulse ⁵⁷																												
Teneré ⁵⁸																												
USEM ⁵⁹																												
Velix ⁶⁰																												
Watt's Watt ⁶¹																												
Watt-I-See ⁶²																												
Watt-lite ⁶³																												
WattBot ⁶⁴																												
WATTSburning ⁶⁵																												
Wattson ⁶⁶																												
What-a-Watt ⁶⁷																												

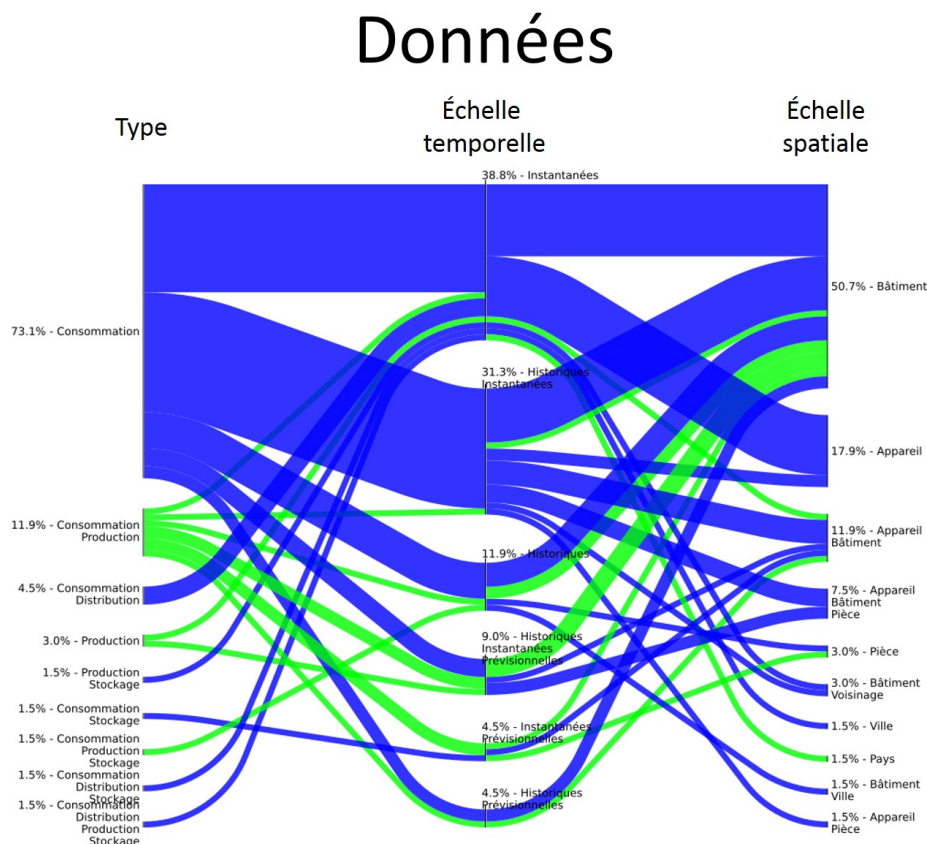
Figure 6. Diagramme Sankey visualisant un flux des critères de « contexte » des 67 systèmes interactifs.



3.4.2 Système : données et fonctions

Ces onze systèmes interactifs, aidant au décalage de la consommation (16,4 % ; 11 sur 67), exploitent tous des données sur la production d'énergie renouvelable. Les caractéristiques des données de ces onze systèmes interactifs sont distinguées en vert sur le diagramme de la figure 7. Ce sont des combinaisons de données historiques, instantanées et prévisionnelles, mais aucun système ne se restreint à afficher uniquement des données prévisionnelles. Cinq de ces systèmes interactifs concernent la production d'énergie renouvelable à l'échelle d'un bâtiment.

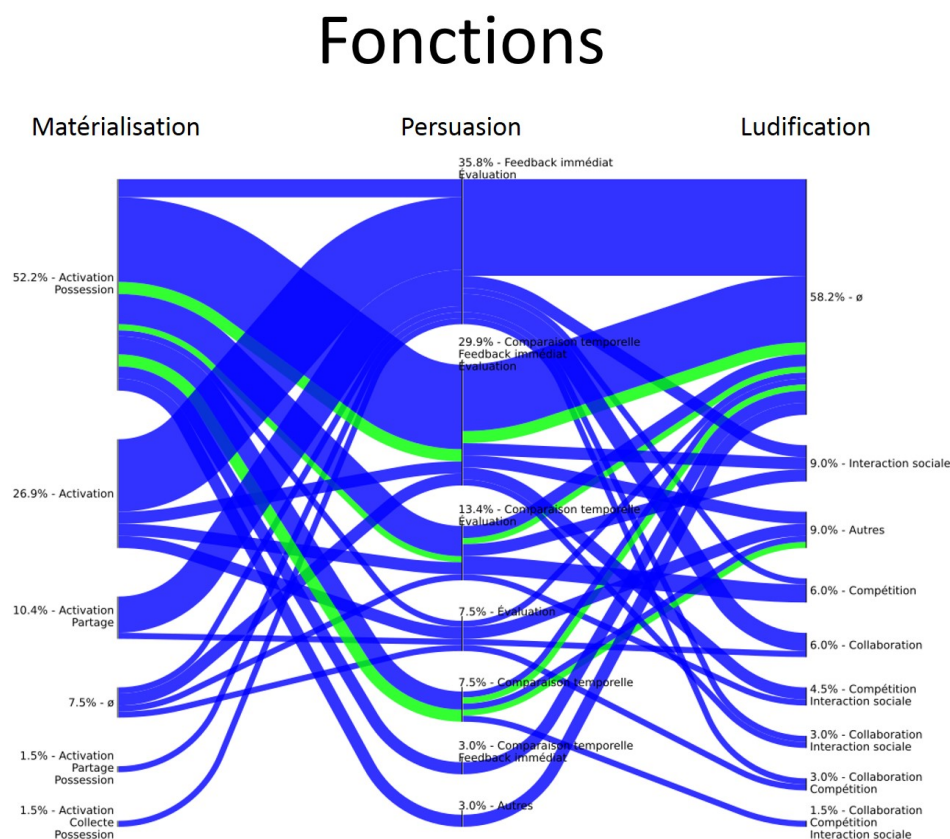
Figure 7. Diagramme Sankey visualisant un flux des critères de « données » des 67 systèmes interactifs.



Ces cinq systèmes interactifs (7,5 % ; 5 sur 67) implantent une fonction de persuasion en particulier : la comparaison temporelle des données historiques, immédiates et prévisionnelles sur la production d'énergie du bâtiment concerné. Les caractéristiques des fonctions de ces cinq systèmes interactifs sont distinguées en vert sur le diagramme de la

figure 8. Cette fonction aide les utilisateurs à planifier leurs usages en énergie en fonction de la disponibilité à venir des énergies renouvelables dans le bâtiment (Costanza et al., 2014 ; Kjeldskov et al., 2015 ; Schrammel et al., 2011). Nous utilisons cette fonction de persuasion pour aider à appliquer des consignes pour maximiser la part d'énergie renouvelable consommée par leur ordinateur portable au travail.

Figure 8. Diagramme Sankey visualisant un flux des critères de « fonction » des 67 systèmes interactifs.



3.4.3 Interface et utilisateur

Les caractéristiques des interfaces des cinq systèmes interactifs précédemment identifiés, qui implantent la fonction de comparaison temporelle, sur des données à l'échelle d'un bâtiment, sont distinguées en vert sur le diagramme de la figure 9. Ces cinq systèmes interactifs utilisent des interfaces graphiques mobiles (c.-à-d. applications web ou applications mobiles). Ces interfaces nécessitent que les utilisateurs soient pro-actifs vis-à-vis du système. Nous formulons l'hypothèse qu'au travail, les employés effectuent des tâches professionnelles et manquent généralement de temps pour être pro-actif vis-à-vis d'un système qui ne serait pas lié à leur activité professionnelle. Une interface fixe ambiante serait de notre point de vue plus appropriée dans ce contexte, étant donné qu'une telle interface peut amener l'information de manière non-intrusive aux employés et leur permettre de rester passifs vis-à-vis du système. Les caractéristiques d'utilisateur de ces cinq systèmes interactifs sont distinguées en vert sur le diagramme de la figure 10. En plus de la pro-activité des utilisateurs, ces cinq systèmes proposent uniquement des interactions individuelles.

3.4.4 Bilan

Aucun des systèmes interactifs du corpus ne répond pleinement à notre contexte et à la pratique ciblée. Parmi treize systèmes interactifs aspirant à la propreté énergétique, douze visent à décaler la consommation d'énergie vers les pics d'énergie renouvelable, mais un seul cible les espaces publics ou collectifs. Cinq de ces systèmes interactifs concernent la

production d'énergie renouvelable (locale) d'un bâtiment, mais leurs interfaces graphiques mobiles semblent incompatibles avec le lieu de travail.

Notre proposition de diagramme cylindrique à changement de forme se distingue de l'existant en affichant uniquement des données prévisionnelles avec une interface fixe et ambiante qui notifie les changements sans déranger ou interrompre les employés. Ce nouvel affichage est également conçu pour être lisible à 360 degrés dans un espace collectif. Nous avons choisi que cet histogramme représente les prévisions par des données ordinales, pour deux raisons principales. Les diagrammes à courbes et les diagrammes à barres (p. ex., un histogramme) sont tous deux des visualisations de données efficaces pour discriminer des discontinuités dans des séries temporelles de données (Telea, 2014), telles que les heures de pics d'énergie renouvelable. En revanche, pour appliquer des consignes, mémoriser des plages horaires simples, heure par heure, sera plus facile que minute par minute (p. ex., débrancher de 15h à 16h, plutôt que débrancher de 15h18 à 16h23). De plus, la fiabilité des prévisions de production étant encore perfectible, des données moyennées sur des heures pleines seront plus fiables et donneront plus de confiance dans le système. Ainsi, pour ces deux raisons, nous avons fait le choix d'utiliser un histogramme visualisant heure par heure les prévisions d'énergie renouvelable de la journée de travail (8h-17h59).

Figure 9. Diagramme Sankey visualisant un flux des critères d'« interface » des 67 systèmes interactifs.

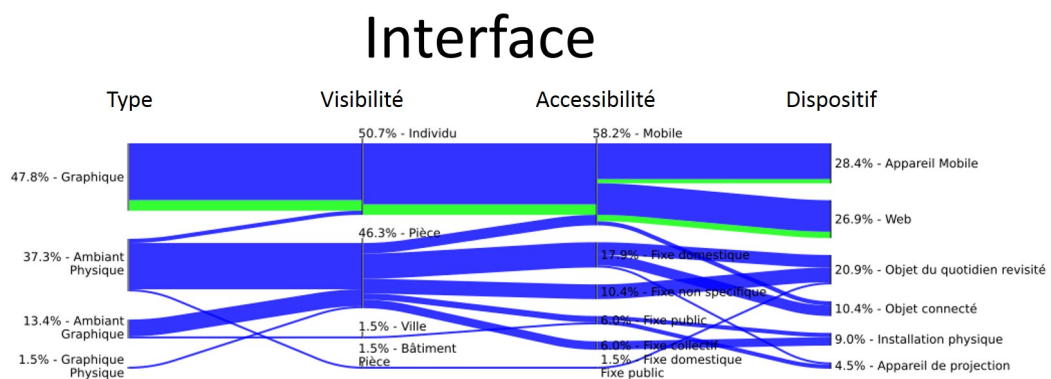
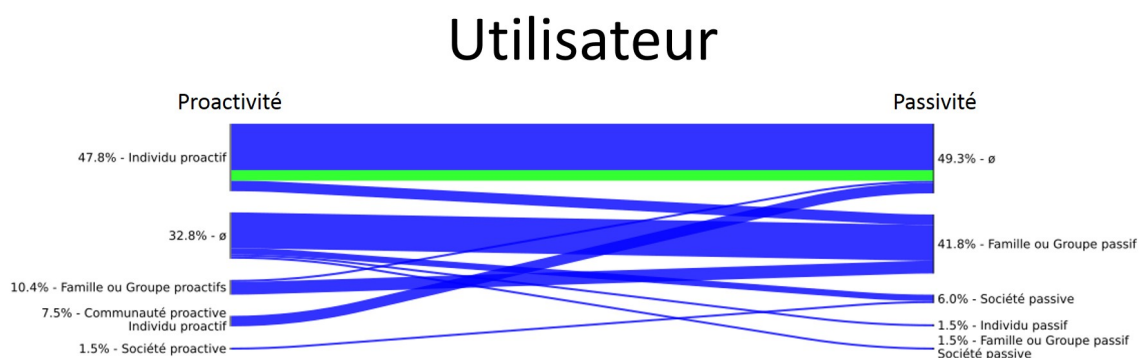


Figure 10. Diagramme Sankey visualisant un flux des critères d'« utilisateur » des 67 systèmes interactifs.



4 TRAVAUX RELATIFS

Depuis près d'un siècle, des afficheurs sont déployés sur les espaces privés collectifs (ex. : hall d'entrée d'une entreprise, d'une école, d'une résidence) et les espaces publics (ex. : musées, stades, aéroports, gares, arrêts de bus) ; leur rôle est de communiquer de l'information (ex. : civique, publicitaire, sanitaire, sportive, ferroviaire) au plus grand nombre (Ardito et al., 2015). Aujourd'hui encore, les afficheurs planaires sont majoritaires sur ces

espaces (p. ex., figure 11), certains offrent de l'interaction tactile (Ardito et al., 2015), d'autres sont en relief et changent de forme (p. ex., figure 12).

Un problème récurrent est rencontré sur ces espaces collectifs et publics lorsque les utilisateurs ont des points d'observation disséminés, typiquement quand ils arrivent de différentes directions. Un afficheur planaire ne peut communiquer que vers seulement une partie des utilisateurs. Afin de pouvoir communiquer avec un maximum d'utilisateurs, des afficheurs non-planaires à révolution (c.-à-d. repliés autour d'un axe) ont été conçus, notamment des afficheurs cylindriques (p. ex., figure 13), certains permettant également de l'interaction tactile (Beyer et al., 2011). Contrairement aux afficheurs planaires, les afficheurs non-planaires avec révolution sont utilisables à 360 degrés autour d'un axe (Bolton et al., 2012). Ces afficheurs ont l'avantage de permettre à plusieurs utilisateurs autour de l'interface d'interagir simultanément avec le système sans pour autant se déranger les uns et les autres, tout en conservant une certaine intimité (Ardito et al., 2015). D'autres ont pris la forme de sphères volantes à LEDs pour les enceintes des stades (Yamada et al., 2017).

Ces afficheurs publics qui communiquent à 360 degrés sont des affichages graphiques. Pour communiquer des données de prévision d'énergie, lisibles à 360 degrés sur les espaces publics et collectifs, nous faisons le choix d'explorer des affichages physiques.

Figure 11. Des afficheurs planaires dans une station de métro (New York, NY, USA).



Figure 12. À notre connaissance, le premier panneau publicitaire à changement de forme déployé sur une place publique, le 8 août 2017 (Coca-Cola, Times Square, New York, USA).



Figure 13. Des afficheurs cylindriques dans un aéroport (photo prise le 28/02/2012 à Pékin, Chine).

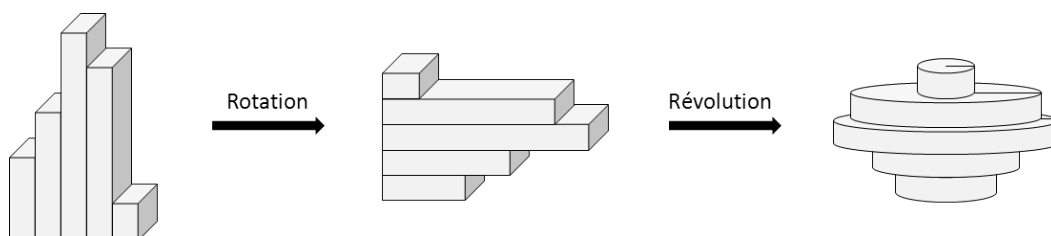


4.1 Physicalisation de données

La « physicalisation de données » (DataPhys) a émergé comme un champ de recherche à l'intersection entre la « visualisation de données » (DataViz) et les « interfaces utilisateur tangibles » (Tangible User Interfaces, TUIs). Jansen et al. (2015) définissent une « physicalisation » comme un « artefact physique dont les propriétés géométriques et matérielles encodent une donnée » et proposent de considérer la « physicalisation de données » comme un champ de recherche qui « examine comment les représentations physiques des données (c.-à-d. physicalisations) peuvent supporter la cognition, la communication, l'apprentissage, la résolution de problèmes et la prise de décisions ». Ils distinguent les physicalisations « statiques » dont les propriétés physiques sont difficilement modifiables, des physicalisations « dynamiques » dont les propriétés physiques peuvent être modifiées (p. ex., à l'aide d'une interface à changement de forme). Des exemples typiques de physicalisations dynamiques sont les diagrammes à lignes¹¹, à barres (Jansen et al., 2013 ; Taher et al., 2015) et en camembert (Regan et al., 2015).

Pour représenter les données de prévision d'énergie, nous proposons un histogramme à anneau. Cet histogramme avec symétrie cylindrique est la symétrie de révolution d'un histogramme à barre (voir figure 14). Un exemple d'histogramme cylindrique a été utilisé pour « physicaliser » des données démographiques de la population Irlandaise¹² afin de communiquer des données sociales et économiques. Cet exemple, fabriqué avec une pile ré-arrangeable de disques en bois, est cependant une physicalisation statique (voir figure 15). Nous proposons une physicalisation dynamique d'histogramme, dont les mouvements subtils sont conçus pour notifier au quotidien sans déranger et sans agacer.

Figure 14. Un histogramme cylindrique est la symétrie de révolution d'un histogramme renversé.



¹¹ Pulse: Tangible Line Graph (2012), Jon McTaggart et Christian Ferrara, <http://dataphys.org/list/pulse-tangible-line-graph/>

¹² Vessels of Irelands Past #2 (2014), Trevor Hogan, <http://tactiledata.net/>

Figure 15. Vessels of Irelands Past, un histogramme physique statique.



4.2 Notification par attention périphérique

La « conscientisation ambiante » est la capacité des êtres humains qui leur permet d'être conscients des informations environnantes (Wisneski et al., 1998). Weiser et Brown (1996) définissent les « technologies calmes » comme des technologies capables de voyager entre la périphérie et le centre de l'attention des utilisateurs. Ils affirment que les technologies calmes améliorent la conscientisation ambiante des utilisateurs en amenant plus de détails en périphérie : 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 (Weiser et Brown, 1996). Récemment, le terme « interaction périphérique » (Peripheral Interaction) a émergé, visant à élargir le cadre des technologies calmes en concevant non seulement pour la perception périphérique mais également pour l'action périphérique. Les interfaces périphériques visent des interactions simples en périphérie de l'attention de l'utilisateur, se reposant sur les capacités humaines telles que la proprioception (Boff et al., 1986), l'attention divisée (Wickens et McCarley, 2007) et les processus habituels (Bakker et al., 2010) qui peuvent être réalisés avec un minimum d'attention.

StaTube (Hausen et al., 2012) est un exemple d'interface de forme cylindrique exploitant l'attention périphérique pour notifier. StaTube est une pile de sept anneaux illuminés de 6 cm de diamètre mesurant 17 cm de hauteur au total. Placé sur un bureau, StaTube notifie subtilement l'utilisateur à propos de son statut de messagerie instantanée et du statut de sept contacts favoris au maximum (la couleur de chaque anneau encode le statut du contact associé) (voir figure 16). L'utilisateur peut changer son statut en tournant l'anneau du haut.

Figure 16. StaTube, une interface cylindrique, notifie par changement de lumière (Hausen et al., 2012).



Gutwin et al. (2017) ont montré que le changement de lumière (changement de couleur, changement de luminosité) est moins bien perçu dans l'ensemble du champ de vision humain, notamment dans le champ de vision périphérique, que le changement de forme (p. ex., changement de position, changement de taille). Nous proposons donc un histogramme cylindrique qui notifie par changement de forme.

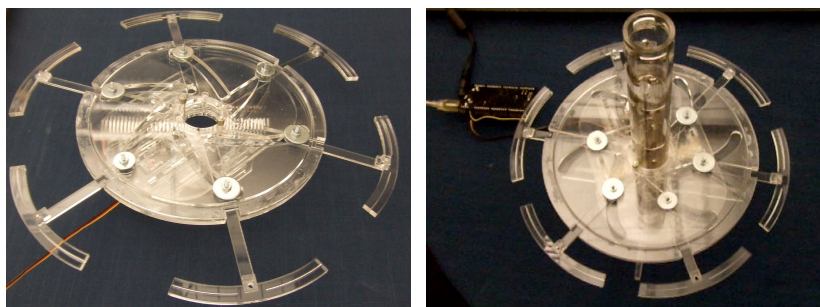
4.3 Interfaces à changement de formes

Dans la lignée des interfaces utilisateur tangibles (TUIs), les « interfaces à changement de forme » (Shape-Changing Interface, SCI) sont « conçues, avec l'hypothèse que dans un futur proche, les objets physiques deviendront aussi malléables que leurs homologues virtuels » (Sutherland, 1965 ; Ishii et al., 2012 ; Strohmeier et al., 2016). Les interfaces à changement de forme récentes emploient des actionneurs—p. ex., mécaniques (Blackshaw et al., 2011), thermiques (Heibeck et al., 2015), magnétiques (Lee et al., 2011), acoustiques (Seah et al., 2014), pneumatiques (Yao et al., 2013), ou biologiques (Yao et al., 2015)—pour changer les propriétés physiques—p. ex., de formes (Horev, 2006), de volumes (Kim et al., 2008), de viscosités (Jansen et al., 2010), de positions (Le Goc et al., 2016), de textures (Leithinger et Ishii, 2010), d'orientations (Togler et al., 2009)—de courbes, de surfaces et de volumes qu'elles utilisent comme entrée et sortie du système—p. ex., en sortie seulement (Stusak et al., 2014), en sortie et en entrée simultanément (Nakagaki et al., 2016).

Les recherches sur les interfaces à changement de forme « se concentrent principalement sur leur potentiel et les défis techniques plutôt que sur l'expérience des utilisateurs avec ce type d'interfaces » (Rasmussen et al., 2012). Il devient important pour la communauté « d'illustrer comment les interfaces à changement de forme peuvent s'intégrer et bénéficier à des contextes d'usage, tout comme comprendre comment les interfaces à changement de forme peuvent s'intégrer à la vie quotidienne de manières inattendues et nouvelles » (Grönvall et al., 2014 ; Rasmussen et al., 2012). C'est pourquoi, nous proposons, d'une part, d'utiliser une interface à changement de forme pour représenter des prévisions de disponibilité des énergies renouvelables sur les espaces publics et collectifs et, d'autre part, de l'évaluer expérimentalement.

L'idée d'une interface cylindrique à changement de forme lisible à 360 degrés pour l'aide à la maîtrise de l'énergie fut déjà émise par Wu (2010) avec la Weather Lamp. La Weather Lamp est conçue comme une pile modulaire d'anneaux extensibles illuminés (appelés Tangible Visualization Modules, TVM), mais le prototype est resté au stade de la conception des anneaux. L'objectif de la Weather Lamp est d'afficher des données météorologiques, mais Wu ne précise pas lesquelles, ni comment elles seraient représentées. De plus, le contour des anneaux proposés forme un cercle discontinu, ce qui atténue la lisibilité à 360 degrés (voir figure 17). Enfin, aucune étude utilisateur ne valide l'utilisation proposée.

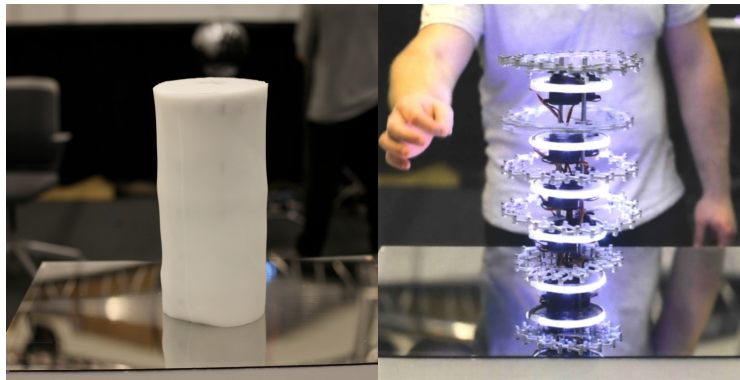
Figure 17. Les anneaux extensibles illuminés (TVM) de Weather Lamp (Wu, 2010).



Amphorm est un autre exemple d'interface cylindrique à changement de symétrie de révolution qui ressemble à un vase (Lakatos, 2012). Une caméra capture le mouvement des mains et déclenche un changement en fonction du geste réalisé par l'utilisateur. Pour changer la forme du vase, recouvert d'une membrane en silicone, un squelette de cinq anneaux extensibles en aluminium constitue une tour de 33 cm de haut (voir figure 18). Le diamètre des anneaux peut s'agrandir de 14 cm à 19 cm. Conçus avec des jointures d'Hoberman (1991), les anneaux s'agrandissent vers une forme similaire à un anneau continu. Cependant, pendant l'agrandissement, les anneaux adoptent une forme d'étoile à 11 branches. Le squelette d'Amphorm n'a pas été conçu pour présenter des données ordinales et la forme intermédiaire en étoile limite la lisibilité des données à 360 degrés.

Dans la section suivante, nous présentons la conception d'un histogramme cylindrique à changement de forme fonctionnel. Cet histogramme utilise un nouveau mécanisme d'anneau extensible illuminé qui conserve une forme circulaire tout au long de son expansion. Nous proposons ensuite de visualiser, avec cet histogramme, des prévisions de disponibilité d'énergies renouvelables sur les espaces publics et collectifs.

Figure 18. Amphorm et son squelette de cinq anneaux extensibles (Lakatos, 2012).



5 UN NOUVEL AFFICHEUR A CHANGEMENT DE FORME

Depuis le néolithique, des monticules de pierres sont érigés par les hommes comme mémoriels et comme repères pour marquer des points d'intérêt tel que le sommet d'une montagne (Ashmore, 1980 ; CAIRN, 1911 ; Tilley, 2004). Ces constructions de pierres sont communément appelées des « cairns » (du gaélique écossais « càrn », apparenté au breton « karn ») et présentent plus ou moins une symétrie de révolution selon les cas (p. ex., figure 19).

Figure 19. Un « cairn » d'une forme plus ou moins symétrique.



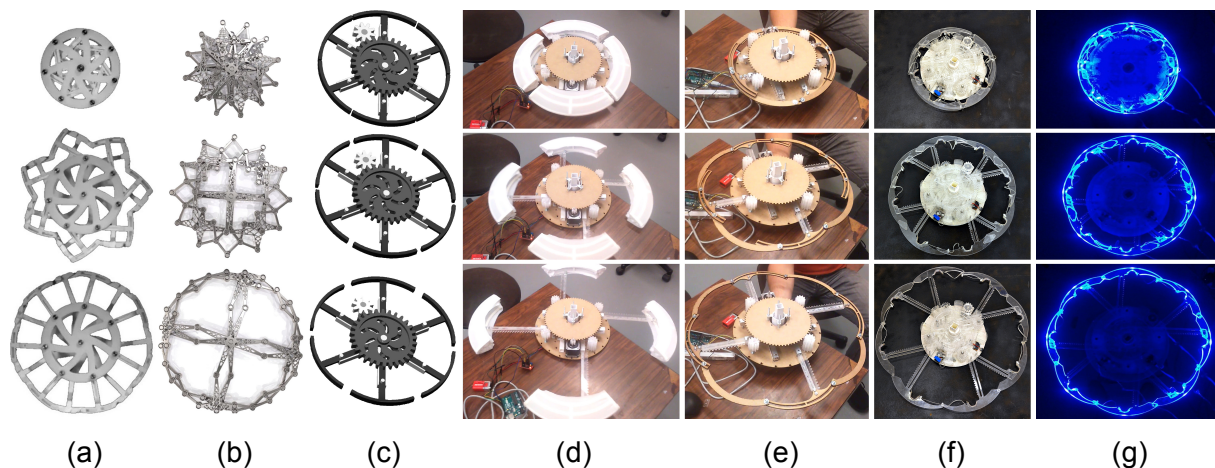
Inspiré par cet usage millénaire des pierres, nous proposons CairnFORM (Daniel et al., 2019), une interface avec changement de symétrie de révolution capable d'adopter la forme de différents « cairns » grâce à une pile modulaire d'anneaux extensibles illuminés.

5.1 Implémentation

Pour concevoir un anneau empilable, extensible et illuminé nous avons suivi un processus de conception en plusieurs étapes de Daniel et al. (2018), illustrées à la figure 20. L'objectif de conception était d'aboutir à un anneau extensible qui puisse doubler son diamètre tout en maintenant un contour similaire à un cercle continu et régulier tout au long du mouvement d'extension. Une contrainte forte était de conserver un espace intérieur fixe suffisant pour y loger l'électronique de contrôle (p. ex., moteur, capteur, fils). Trois mécanismes d'anneaux extensibles nous ont inspirés. Tout d'abord, le mécanisme basé sur le principe d'Hoberman (1991) (a)(b), comme utilisé par Amphorm (Lakatos, 2012). L'inconvénient de ce mécanisme est qu'à mi-transformation le contour de l'anneau devient une étoile. Puis, un autre mécanisme basé sur des arcs adjacents (c), comme utilisé pour les TVM (Wu, 2010). L'inconvénient est alors les espaces qui apparaissent entre les arcs au fil de l'extension. Nous avons itéré en trois principales étapes, en commençant par un anneau

à quatre bras et quatre arcs (d), puis un anneau à quatre bras et huit arcs dont quatre sont coulissants (e). Le glissement des arcs coulissants était en revanche inconstant, ne garantissant pas le maintien d'un contour circulaire, voire risquant de bloquer et casser des éléments. Nous avons donc conçu un mécanisme à huit bras et huit arcs superposés (f). Ce mécanisme en PMMA transparent est alors illuminé par réflectance interne de LEDs placées sur la tranche interne des arcs (g).

Figure 20. Six mécanismes d'anneaux extensibles : (a) HobermanRing-7points, (b) HobermanRing-12points, (c) DiscontinuousRing-6arms-6arcs, (d) DiscontinuousRing-4arms-4arcs, (e) IrregularRing-4arms-8arcs, (f) RingLike-8arms-8arcs et (g) RingLike-8arms-8arcs illuminé.



Ce prototype d'anneau pèse 2,3 kg et nécessite deux jours/homme de fabrication : 4 heures de découpe laser, 5 heures d'impression 3D, 4 heures de câblage électronique et 4 heures d'assemblage. L'anneau est construit autour d'une colonne centrale, qui permet de rendre l'anneau empilable et de faire passer la gaine de fils. Un moteur pas-à-pas TRINAMIC QSH4218-41-10-035, muni d'un engrenage de transmission, entraîne une roue dentée, qui elle-même entraîne quatre pignons. Chaque pignon entraîne une crémaillère axiale et une crémaillère diagonale. Au bout de chaque crémaillère, un arc représente un huitième d'anneau. Lorsque l'anneau est complètement rétracté, les arcs forment un anneau de 35 cm de diamètre. Lorsque l'anneau est complètement étendu, les arcs forment un contour similaire à un anneau de 62 cm de diamètre. Un capteur de fin de course détecte la rétraction complète de l'anneau. L'anneau est illuminé par 24 LEDs NeoPixel RGB (trois LEDs collées derrière chaque arc) divisées en quatre bandes à l'aide d'un séparateur. Chaque bande est soudée à une nappe de fils électriques, elle-même collée aux crémaillères. La colonne centrale est fabriquée en PLA par impression 3D. Les autres parties sont en PMMA transparent, découpées par découpe laser et assemblées avec de l'acétone. Les parties restantes sont principalement des pièces de support en bois contre-plaqué, découpées par découpe laser. Les pièces sont assemblées avec des vis, des écrous, des rondelles et de la colle à chaud. Le schéma technique de l'anneau est présenté figure 21 et le modèle CAO est disponible en téléchargement¹³.

Par la suite, nous avons usiné et empilé 10 anneaux extensibles illuminés pour constituer un prototype de CairnFORM à 10 anneaux (illustré à la figure 22). Ce prototype est contrôlé par un nano-ordinateur Raspberry Pi 3. Ce Raspberry Pi 3 communique avec 5 bonnets Adafruit pour moteur pas-à-pas via un bus I²C, chaque bonnet contrôlant deux moteurs pas-à-pas (c.-à-d. deux anneaux). Pour détecter lorsque l'anneau est fermé, le Raspberry Pi 3 communique via GPIO avec un bonnet Adafruit perma-proto HAT sur lequel sont soudées 10 résistances de tirage (une par interrupteur mécanique, c.-à-d. par anneau).

¹³ Modèle CAO :

<https://cad.onshape.com/documents/7d4ecae370a1e03250f148cc/w/40919688efd268263900abc1/e/6c37dd97791037a37d7dd39b>

Pour contrôler les LEDs, le Raspberry Pi 3 communique par port série avec une carte Arduino Mega 2560 à 10 sorties PWM (une par séparateur LEDs, c.-à-d. par anneau). Le pilote de CairnFORM, écrit en Python 2.7, s'exécute sur le Raspberry Pi 3. Il implémente quatre classes Python et utilise des processus légers et des files d'évènements permettant de contrôler les anneaux en série ou en parallèle. Le pilote utilise également un serveur MQTT qui permet de transformer CairnFORM en objet connecté, ce qui permet de lui envoyer des requêtes sur IP depuis le réseau wifi. Le code source du pilote est disponible en téléchargement¹⁴ sous licence GPL. Le matériel et les composants logiciels utilisés pour contrôler un CairnFORM à 10 anneaux sont schématisés figure 23.

Figure 21. Modèle CAO de notre mécanisme à huit bras et huit arcs.

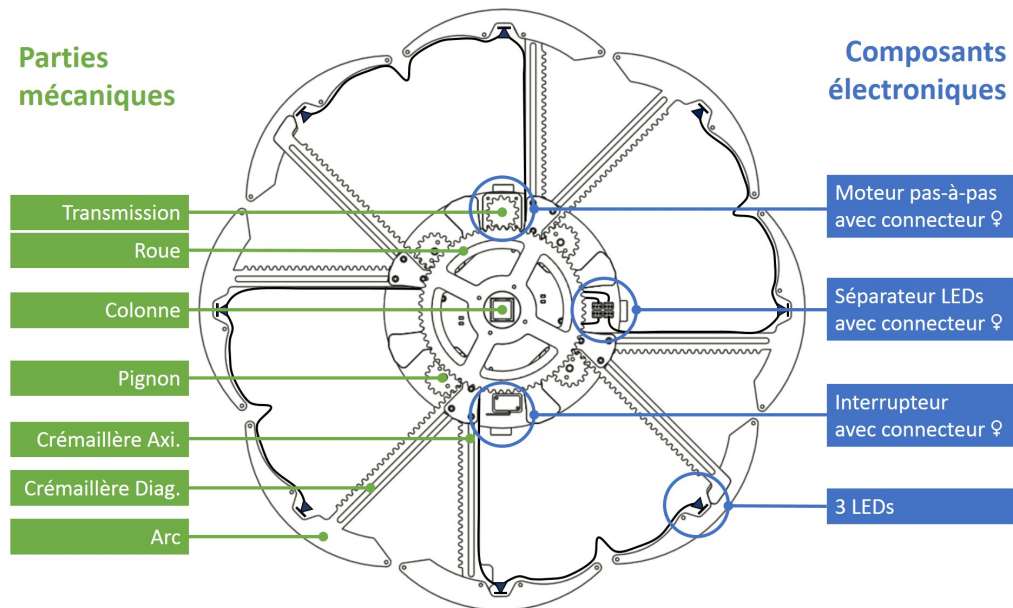
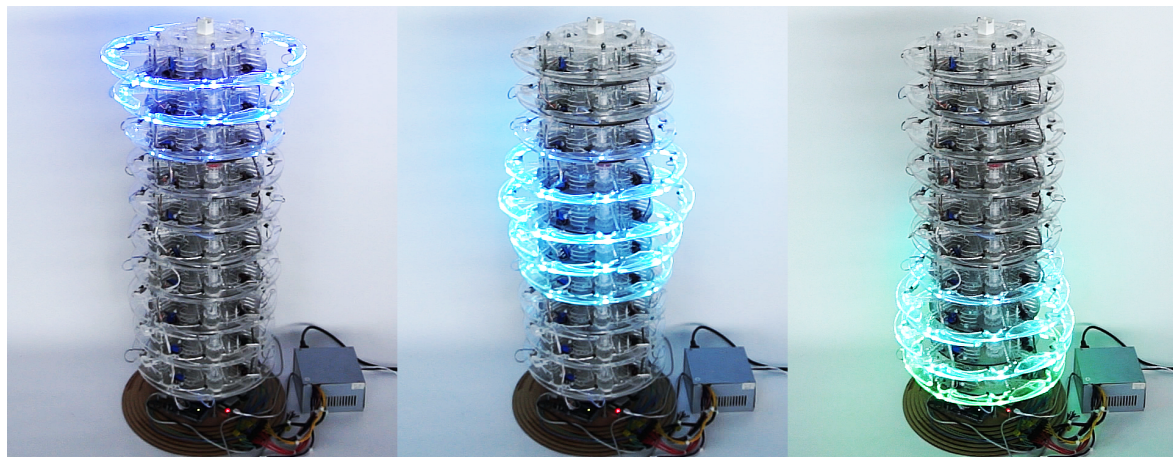
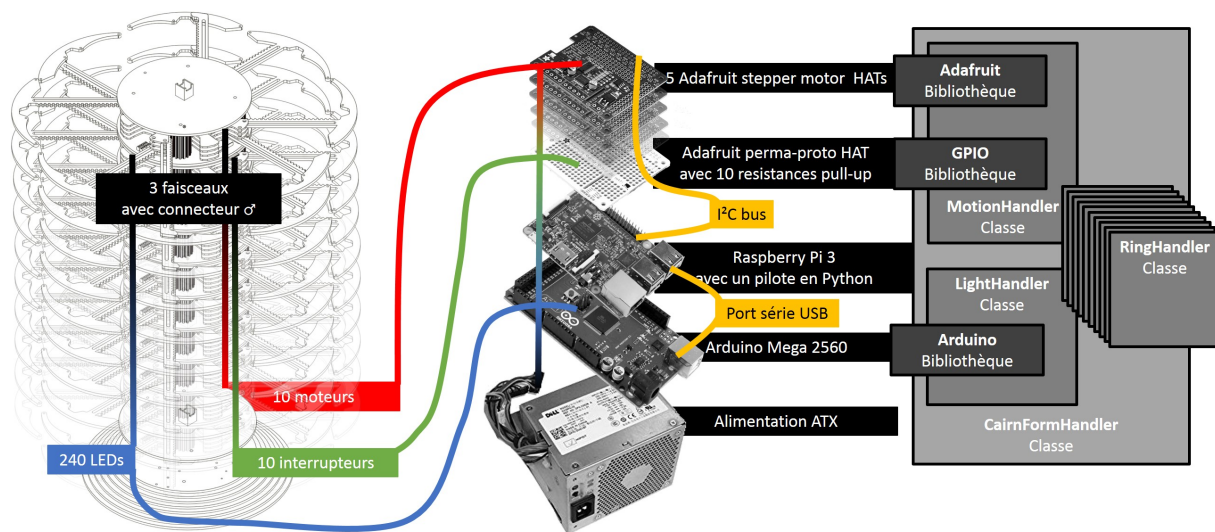


Figure 22. Un CairnFORM à 10 anneaux.



¹⁴ Pilote de CairnFORM :
<https://github.com/maximedaniel/CairnFORM>

Figure 23. Éléments matériels et logiciels pour contrôler un CairnFORM à 10 anneaux.



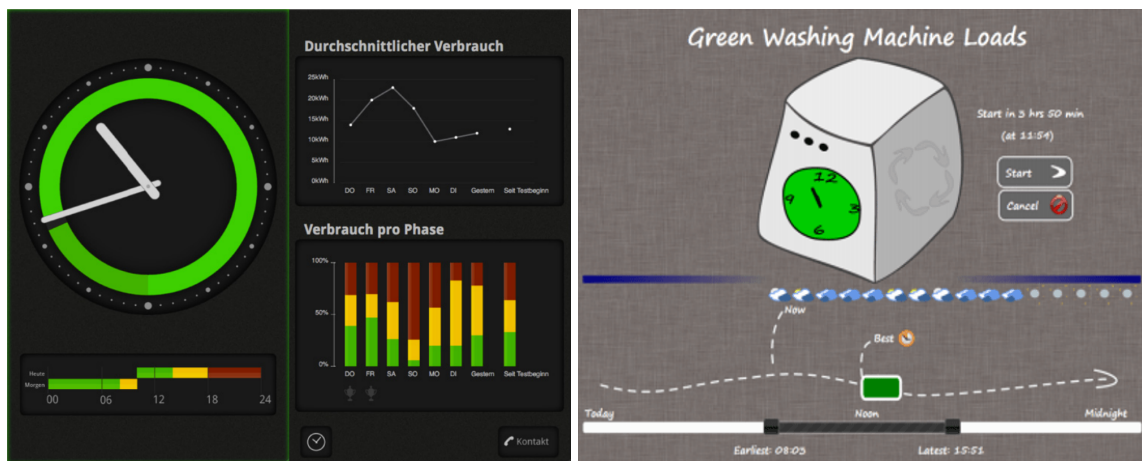
5.2 Capacité, limitations et coût de fabrication

La couleur et la luminosité de chaque anneau est spécifiée par une valeur sur 24 bits (trois composantes rouge, vert et bleu de 1 octet). Chaque anneau peut se mouvoir en 250 pas de 1,08 millimètres. Notre prototype rencontre cependant plusieurs limitations comme le facteur d'agrandissement : les anneaux peuvent seulement atteindre un diamètre 1,8 fois supérieur au diamètre initial (de 35 cm à 62 cm) ; le bruit du mouvement : l'actionnement d'un anneau génère 60 dB à une distance de 1 mètre (avec un moteur en mode double bobines sous une tension de 5 V et une vitesse de rotation de 60 tr.min⁻¹) ; la consommation d'énergie : dans le pire des cas, un CairnFORM à 10 anneaux tire 122 W (jusqu'à 72 W pour 240 LEDs ; jusqu'à 50 W pour 10 moteurs) ; et le coût de fabrication : une pile de 10 anneaux coûte 2000€ de matériaux pour usiner les anneaux ainsi que 50€ pour fabriquer le socle et 300€ d'électronique de contrôle.

6 AFFICHER LES PREVISIONS DE DISPONIBILITE DES ENERGIES RENOUVELABLES

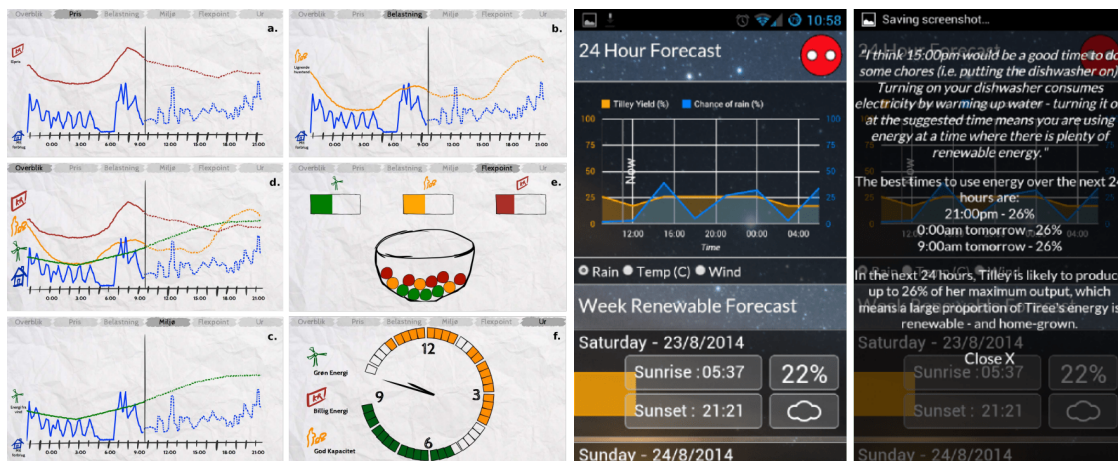
Parmi les cinq systèmes interactifs précédemment identifiés permettant aux utilisateurs de comparer les prévisions de disponibilité des énergies renouvelables, nous nous désintéressons de *Tariff Agent* (Alan et al., 2016) qui présente les données sous forme d'une matrice de nombres à deux dimensions : d'une part, une seule dimension nous est utile et, d'autre part, parce qu'un diagramme, tels les diagrammes à courbes et les diagrammes à barres (p. ex., un histogramme) sont des visualisations de données efficaces pour discriminer des discontinuités dans des séries temporelles de données (Telea, 2014). Les quatre autres systèmes, *FORE-Watch* (Schrammel et al., 2011), *Conversation WashMachine* (Bourgeois et al., 2014), *eForecast* (Kjeldskov et al. 2015), *Tiree Energy Pulse* (Simm et al., 2015), permettent aux utilisateurs de comparer les prévisions de disponibilité des énergies renouvelables selon quatre granularités temporelles : toutes les minutes de la prochaine heure (Schrammel et al., 2011), toutes les heures restantes de la journée (Schrammel et al., 2011 ; Costanza et al., 2014), toutes les heures des 12 prochaines heures (Kjeldskov et al., 2015), ou toutes les heures des 24 prochaines heures (Costanza et al., 2014). Pour visualiser ces prévisions d'énergie renouvelable, ces systèmes utilisent des visualisations de données, exclusivement graphiques, telles que des diagrammes à frises chronologiques linéaires (figures 24a et 24b) ou circulaires (figures 24a et 24c) et des diagrammes à courbes (figures 24b, 24c et 24d).

Figure 24. Quatre systèmes interactifs qui visualisent des prévisions d'énergie renouvelable.



(a) FORE-Watch

(b) Conversation WashMachine



(c) eForecast

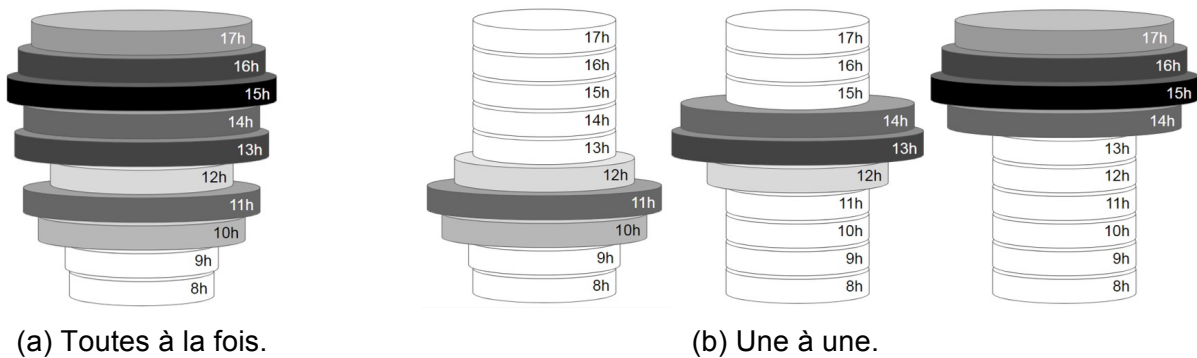
(d) Tiree Energy Pulse

Nous avons choisi de représenter les prévisions par des données ordinales (cf. sous-section 3.4.4). Pour s'assurer que les utilisateurs seront en mesure d'appliquer le jeu de consignes précédemment défini (cf. section 2.3) sur un tel histogramme, nous avons réalisé une étude préliminaire avec des impressions sur papier.

6.1 Visualiser une à une les variations des heures à venir de la journée de travail

Pour appliquer les consignes, les utilisateurs doivent pouvoir localiser les variations et retrouver les pics de production. Au travers de trois études préliminaires avec 21 participants au total (8 femmes, 13 hommes), nous avons compris qu'il serait difficile que tous les pics d'énergie renouvelable soient retrouvés sur un histogramme à symétrie de révolution visualisant toutes les variations d'énergie renouvelable de la journée de travail (figure 25a) : la plupart des participants ont seulement identifié l'heure du plus grand pic (l'anneau le plus large et le plus sombre du maximum global) à défaut des heures des autres pics, plus faibles (les maxima locaux). En revanche, les participants devraient retrouver tous les pics d'énergie renouvelable en visualisant les variations les unes après les autres (figure 25b) : tous les participants ont identifié l'heure de pic de chaque variation, correspondant à chaque fois à l'anneau le plus large et le plus sombre. En conséquence, pour tirer profit de chaque variation, nous avons choisi de filtrer les données de disponibilité d'énergie renouvelable pour afficher les variations une à une (voir figure 25b), au fil de l'avancée de la journée de travail.

Figure 25. Deux façons de visualiser les variations avec un histogramme.

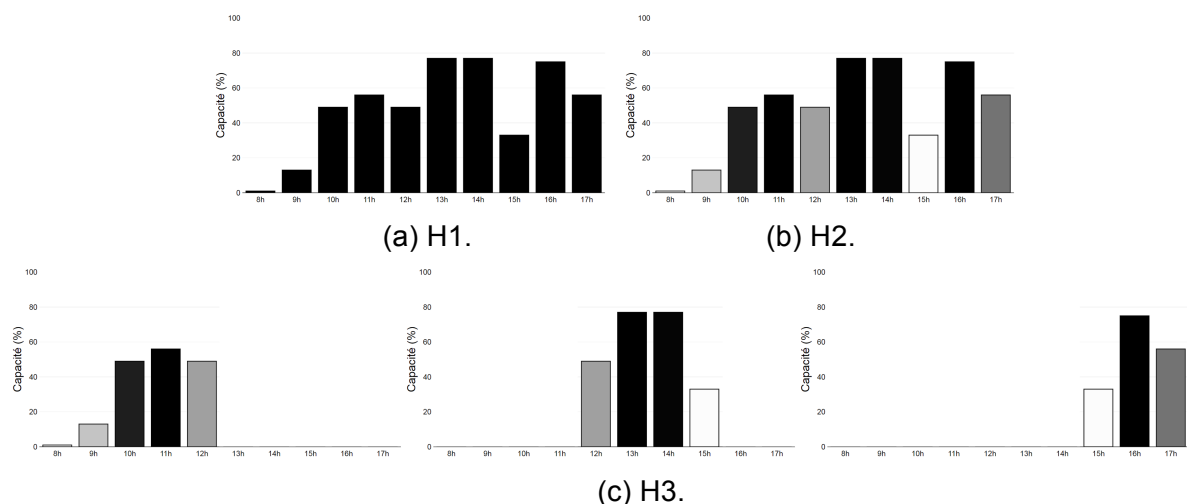


Nous avons conduit cette étude préliminaire sur des histogrammes à barres verticales et avons réitéré avec trois versions d'histogrammes :

- H1 : Un histogramme à barres verticales visualisant les prévisions d'énergie renouvelable pour la journée de travail.
- H2 : Le même histogramme H1 avec un gradient de blanc à noir pour chaque heure en fonction de la distance au pic de la variation, afin de mettre en évidence le pic de chaque variation.
- H3 : Le même histogramme H2, avec un affichage variation par variation, afin d'isoler le pic de chaque variation.

Pour chacune de ces études pilotes, les participants disposaient d'une série d'histogrammes, imprimés sur feuille A4, visualisant les données de quatre journées. Les visualisations des données de la première journée, avec les trois versions d'histogramme, sont présentées sur la figure 26. Les participants devaient effectuer une tâche inspirée d'une des trois tâches élémentaires de recherche d'information (Jansen et al., 2013) : cocher les heures des pics d'énergie renouvelable de la journée de travail ($T_{comparaison}$).

Figure 26. Visualisation d'une des quatre journées avec les trois versions d'histogramme.



Lors de la première itération avec H1 (3 femmes, 4 hommes), la majorité des participants (5 sur 7) ont identifié un pic d'énergie renouvelable comme 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 variations d'énergie renouvelable dans une journée de travail et donc plusieurs pics d'énergie renouvelable, comme relevé par un participant (P2 : « De temps en temps, il y a des pics locaux. »). Lors de la deuxième itération avec H2 (3 femmes, 4 hommes), à nouveau, certains participants (3 sur 7) ont identifié un pic d'énergie renouvelable comme 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 d'énergie renouvelable qu'ils n'auraient pas identifiés 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. »). Lors de la troisième itération avec H3 (2 femmes, 5 hommes), tous les participants ont identifié tous les pics d'énergie renouvelable.

Les participants ont échoué à retrouver tous les pics d'énergie renouvelable en visualisant toutes les variations de la journée de travail à la fois (avec H1 et H2), alors qu'ils ont réussi à visualiser tous les pics quand les variations sont présentées une à une (avec H3). Nous considérons que ce résultat obtenu sur des histogrammes horizontaux à barres est généralisable aux histogrammes verticaux à anneaux. Ce résultat nous conduit ainsi à visualiser une à une les variations d'énergies renouvelables à venir pendant la journée de travail avec CairnFORM.

Nous avons réalisé deux expérimentations utilisateur avec le prototype, en relation avec la mise en œuvre des consignes et le déploiement dans des bureaux au quotidien. La première expérimentation, conduite pendant un événement public, a évalué la « capacité » de mettre les consignes en pratique, en vérifiant que le prototype permet de retrouver l'heure de début, l'heure de pic et l'heure de fin de la variation d'énergie renouvelable. La deuxième expérimentation a évalué l'« opportunité » de mettre les consignes en pratique, en vérifiant que le prototype permet de prévenir de l'arrivée d'une variation d'énergie renouvelable dans un lieu de travail comme un bureau ou un plateau de bureaux ouverts (open-space). Le lieu de travail est un espace social destiné aux activités professionnelles. Il est important de notifier sans interrompre ou perturber. En condition de laboratoire, nous avons évalué le taux de réussite des notifications ainsi que la quiétude des utilisateurs.

7 EXPERIMENTATION 1 : RETROUVER DES PICS DE PRODUCTION

Les 1 et 2 décembre 2017, nous avons déployé un CairnFORM à 10 anneaux pendant un événement public, la 11e édition des « 24h de l'innovation® »¹⁵ à Biarritz, France, accueillant 2000 participants et visiteurs. Pendant l'événement, nous avons visualisé tour-à-tour trois variations avec des amplitudes et des durées différentes. Pour chaque anneau, nous avons imprimé en 3D quatre étiquettes de l'heure associée à l'anneau et collé chaque étiquette tous les 90 degrés. Le diamètre et la luminosité de chaque anneau est proportionnelle à la capacité moyenne de production d'énergie renouvelable du bâtiment (en pourcentage) pendant l'heure associée : pour une capacité de production d'énergie renouvelable entre 0 W et max W, 0 W est représenté par un anneau éteint et complètement fermé et max W est représenté par un anneau complètement illuminé en bleu et totalement déployé.

Pour chaque variation, nous avons évalué l'utilisabilité des histogrammes avec symétrie de révolution pour les trois tâches de Jansen et al. (2013) adaptées à notre cas d'application (présentées ci-dessous) (Daniel et al., 2019). De plus, nous avons reçu des retours sur l'expérience utilisateur véhiculée par un histogramme avec symétrie de révolution affiché avec CairnFORM.

7.1 Participants

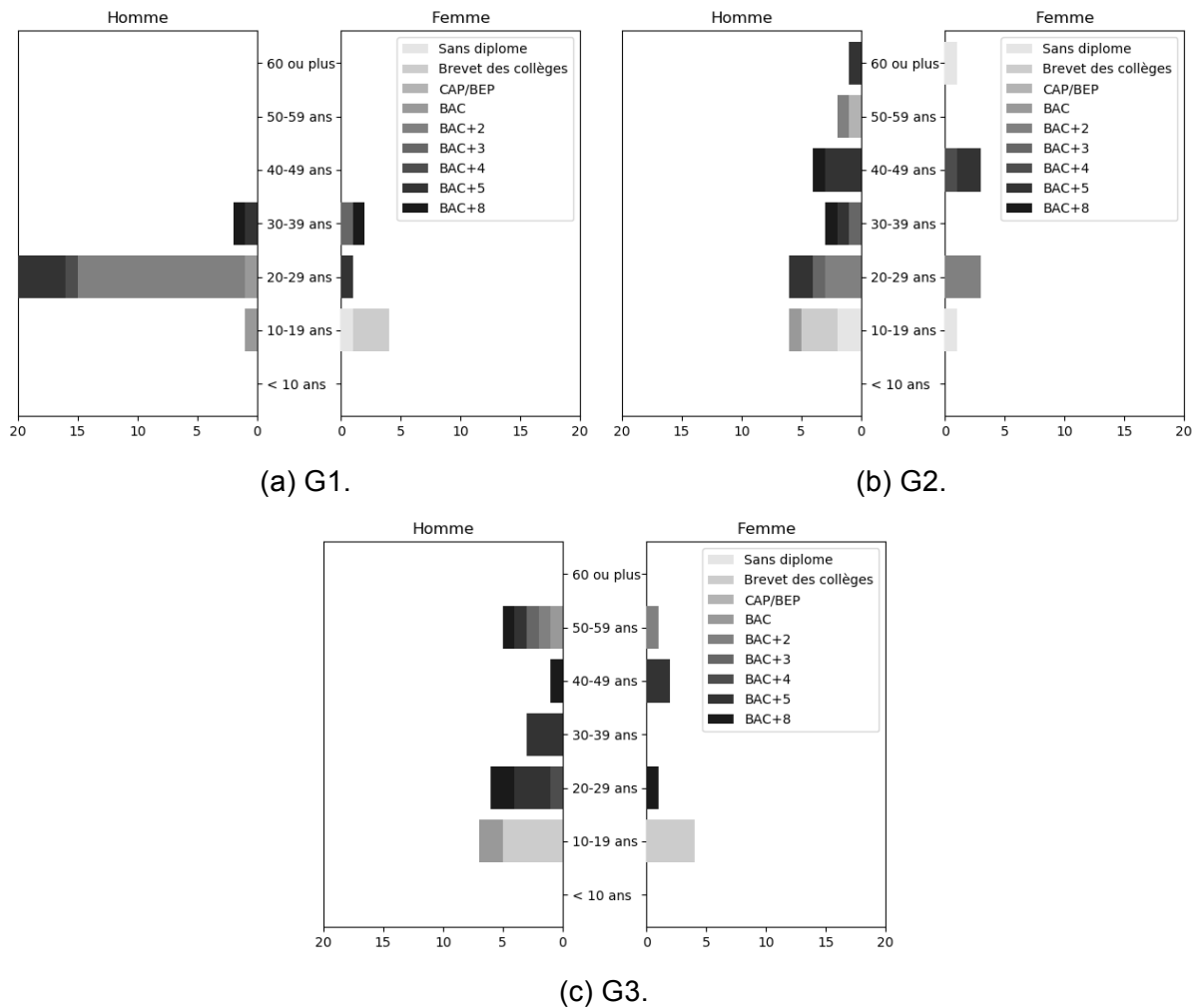
Au total 90 participants ont été recrutés parmi les visiteurs. Les 90 participants ont effectué les trois tâches et étaient répartis en trois groupes de même taille. Un jeu de données différent était assigné à chaque groupe. Les caractéristiques de l'échantillon sont présentées sur la pyramide des âges de la figure 27 :

- G1 : 8 femmes, 22 hommes, Md 20-29 ans, Md Bac+3 ;

¹⁵ <https://24h.estia.fr>

- G2 : 7 femmes, 23 hommes, Md 20-29 ans, Md Bac+2 ;
- G3 : 8 femmes, 22 hommes, Md 20-29 ans, Md Bac+2.

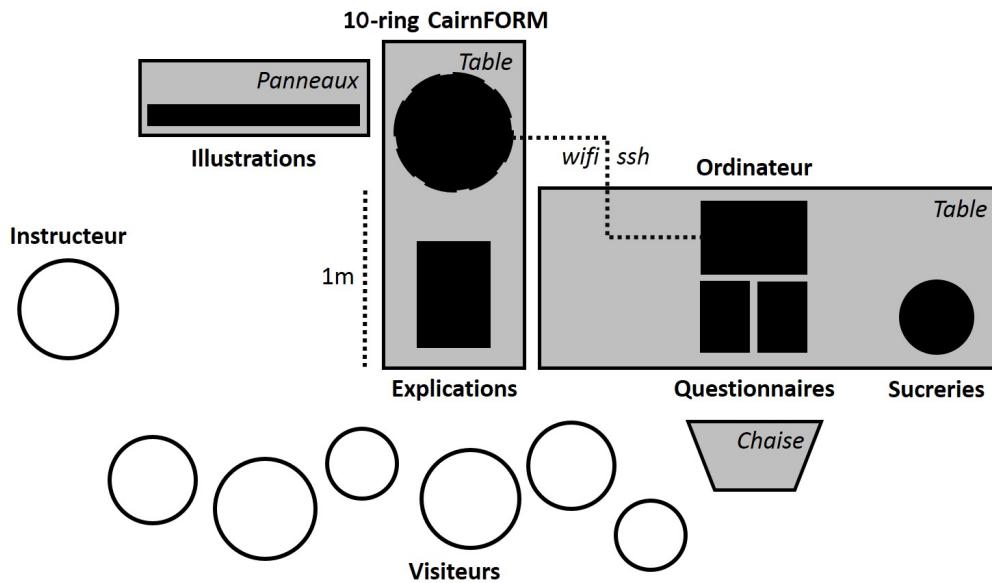
Figure 27. Pyramide de population des trois groupes.



7.2 Installation

Le plan d'installation est illustré par la figure 28. CairnFORM était posé sur une table à 1 mètre du bord. En face de CairnFORM et posés sur la même table, trois posters A3 illustraient l'utilité de CairnFORM (c.-à-d. représenter les données de manière identique à 360 degrés sur les espaces collectifs et publics, p. ex., des données prévisionnelles sur la production d'énergie renouvelable). À gauche de CairnFORM, se trouvaient des panneaux verticaux sur lesquels des feuilles A3 illustraient plusieurs contextes d'usage de CairnFORM (c.-à-d. sur un rond-point, dans une gare et dans un hall d'entrée). À droite de CairnFORM, se trouvait une autre table sur laquelle étaient posés des questionnaires, des sucreries et l'ordinateur contrôlant CairnFORM par connexion SSH en wifi. Les visiteurs étaient interpellés par un instructeur pour leur présenter CairnFORM et leur proposer de participer à l'expérimentation.

Figure 28. Vue du dessus de l'environnement expérimental.

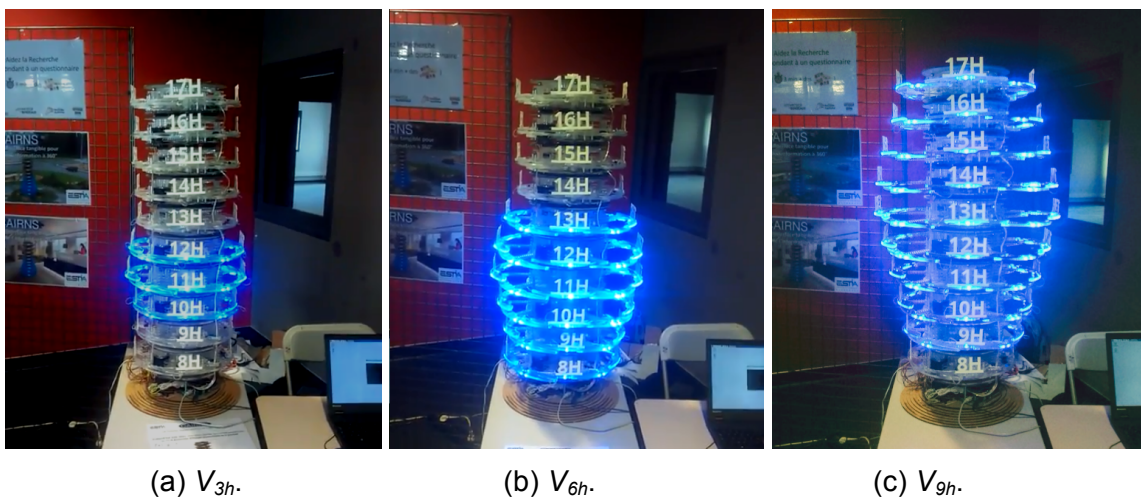


7.3 Modalités

Pendant l'évènement, nous avons visualisé plusieurs variations de données avec une amplitude et une durée différentes. Nous avons choisi des données synthétiques de manière à ce que la différence minimale entre le diamètre des anneaux soit de 1 cm : c'était l'opportunité d'évaluer si une granularité de 1 cm de diamètre (c.-à-d. échelle de valeurs sur 30 points) n'empêche pas les utilisateurs d'accomplir des tâches élémentaires de recherche d'information à 1 m de distance de l'interface. Dans l'ordre suivant, nous avons visualisé trois variations, en photos sur la figure 29, chacune associée à un groupe de participants, dont les amplitudes et les durées étaient les suivantes :

- V_{3h} (G1) : variation de 10h00 à 12h59 avec un pic à 11h00 ;
- V_{6h} (G2) : variation de 8h00 à 13h59 avec un pic à 11h00 ;
- V_{9h} (G3) : variation de 9h00 à 17h59 avec un pic à 13h00.

Figure 29. CairnFORM, utilisé comme un histogramme, visualisant trois variations avec différentes durées et amplitudes, pendant un évènement public (les « 24h de l'innovation ® », Biarritz, France).



(a) V_{3h} .

(b) V_{6h} .

(c) V_{9h} .

7.4 Tâches

Au quotidien sur le lieu de travail, les employés feront face à un CairnFORM affichant un histogramme visualisant une à une des variations d'énergie renouvelable avec des amplitudes et des durées différentes. Sur cet histogramme, l'utilisateur doit être en mesure de retrouver l'heure de début et de fin de la variation d'énergie renouvelable (c.-à-d. une « tâche d'intervalle ») et l'heure de pic de la variation d'énergie renouvelable (c.-à-d. une « tâche de comparaison ») afin de décaler la charge de son ordinateur portable. Nous étudions donc ces deux types de tâches, ainsi que, de sorte à étudier les histogrammes physiques d'une manière plus générale, une tâche d'ordonnement.

Pour chaque variation, 30 participants ont effectué les trois tâches élémentaires de recherche d'information de Jansen et al. (2013), que nous avons adaptées à nos données :

- $T_{intervalle}$: donner l'heure de début et de fin de la variation d'énergie renouvelable (p. ex., de 9h00 à 17h59 pour la figure 28c) ;
- $T_{comparaison}$: indiquer l'heure de pic de la variation d'énergie renouvelable (p. ex., à 11h00 pour la figure 28b) ;
- T_{ordre} : trier les heures de la variation d'énergie renouvelable pour ordre croissant de la production d'énergie renouvelable (p. ex., 10h00, 12h00 et 11h00 pour la figure 28a).

7.5 Procédure

Les visiteurs s'arrêtant devant CairnFORM ou interpellés par l'instructeur ont reçu des explications orales sur l'utilité et les contextes d'usage de CairnFORM en s'appuyant sur les supports présents. Puis, ils ont été invités à participer à l'expérimentation. Les visiteurs qui ont accepté de participer à l'expérimentation ont effectué les tâches sur un questionnaire imprimé sur feuille A4 contenant également des questions sur leur expérience avec l'artefact et des questions démographiques (sexe, âge, dernier diplôme obtenu). De plus, les participants pouvaient écrire leurs commentaires sur le questionnaire. Nous avons également pris note des observations et des commentaires formulés à l'oral par les participants. Tous les 30 participants, l'histogramme était mis à jour pour visualiser une variation d'énergie renouvelable avec une amplitude et une durée différentes.

7.6 Mesures et questionnaires

Pour estimer l'expérience utilisateur (UX), nous avons utilisé le questionnaire standardisé UEQ-S (Schrepp et al., 2017). Pour estimer l'utilisabilité, nous avons mesuré le taux de réussite des participants pour $T_{intervalle}$, $T_{comparaison}$ et T_{ordre} et recueilli les observations et les commentaires des participants.

7.7 Outils

Pour le traitement des données (c.-à-d. les scores du questionnaire UEQ-S et le taux de réussite des tâches), les statistiques descriptives, les tests statistiques et la visualisation des résultats, nous avons utilisé Python 2.7 avec cinq bibliothèques : NumPy, Pandas, SciPy, StatsModels et Matplotlib. Les statistiques descriptives utilisées sont deux critères de position (la moyenne et la médiane) et quatre critères de dispersion (l'écart-type, les quartiles, le minimum et le maximum). Les deux tests statistiques utilisés pour les données qualitatives nominales (c.-à-d. la réussite des trois tâches) sont le test du χ^2 lorsque trois groupes sont à comparer et le test exact de Fisher lorsque deux groupes sont à comparer. Les deux tests statistiques utilisés pour les données qualitatives ordinales (c.-à-d. les réponses au questionnaire UEQ-S) sont le test de Kruskal-Wallis lorsque trois variables sont à comparer et le test de tendance de Cochran-Armitage lorsque deux variables.

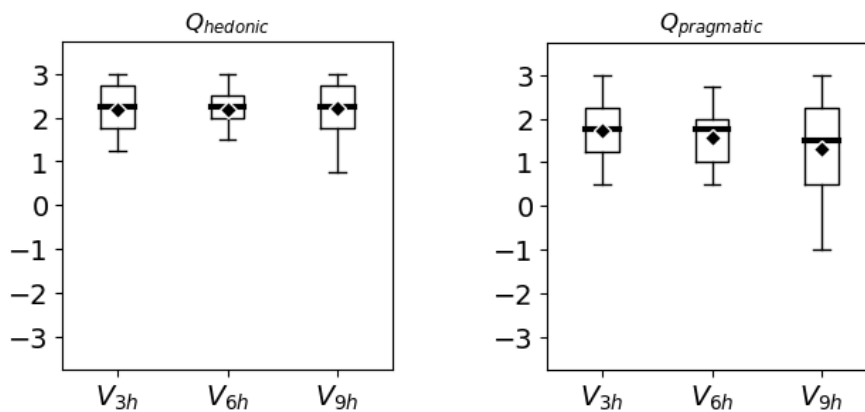
7.8 Résultats

Les sous-sections suivantes décrivent les résultats des réponses données au questionnaire UEQ-S, les taux de réussite aux trois tâches élémentaires de recherche d'information, ainsi que les commentaires majeurs ou récurrents des utilisateurs.

7.8.1 Qualité hédoniste et pragmatique de l'artefact

Sur l'échelle de -3 pts à 3 pts du questionnaire UEQ-S, les participants ont donné un score moyen de 2,25 pts pour $Q_{\text{hédoniste}}$ toutes variations confondues et un score moyen de 1,67 pts pour $Q_{\text{pragmatique}}$ toutes variations confondues. L'amplitude et la durée de la variation n'a pas eu d'effet significatif sur les scores donnés par les participants pour $Q_{\text{hédoniste}}$ et pour $Q_{\text{pragmatique}}$ (illustrés par les diagrammes en boîte de la figure 30).

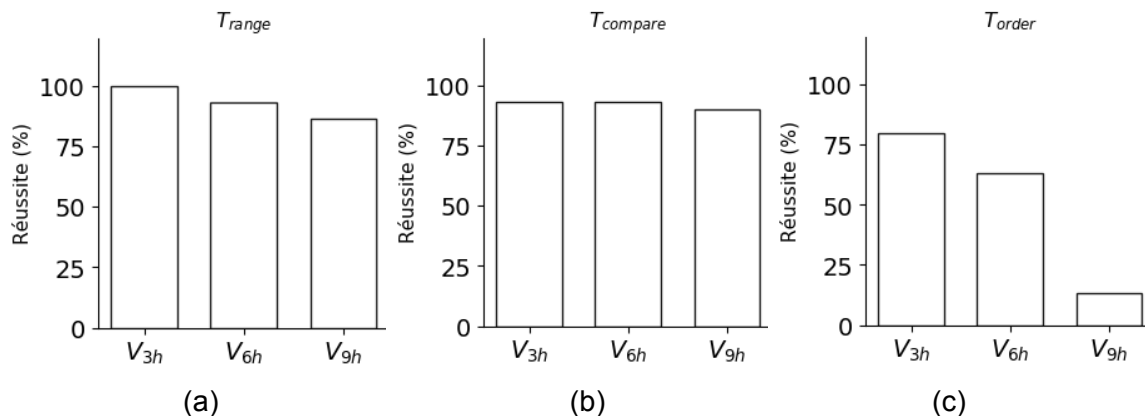
Figure 30. Scores donnés pour les deux qualités mesurées par le questionnaire UEQ-S.



7.8.2 Réussite des tâches

Les participants ont accompli $T_{\text{intervalle}}$ et $T_{\text{comparaison}}$ avec plus de 90 % de réussite en moyenne (respectivement 93,3 % et 92,2 %). L'amplitude et la durée de la variation n'ont pas eu d'effet significatif sur la performance des participants pour $T_{\text{intervalle}}$ et $T_{\text{comparaison}}$ (avec respectivement $p=0,12$ et $p=0,85$). Cependant, la performance des participants pour T_{ordre} est significativement différente entre les variations : le taux de réussite pour V_{9h} est significativement plus faible que pour V_{6h} ($p=0,001$) et que pour V_{3h} ($p=0,001$). Au final, le taux de réussite moyen pour T_{ordre} est seulement de 52,2 %. Les taux de réussite des trois tâches, sur les trois variations, sont illustrés figure 31.

Figure 31. Taux de réussite pour les trois tâches élémentaires de recherche d'information.



7.8.3 Retours des utilisateurs

Les commentaires positifs écrits et oraux des participants montrent que l'histogramme de CairnFORM est hédoniste (p. ex., P7 : « Plaisant. », P23 : « Esthétique et avant-gardiste. », P58 : « Exquis. ») et pragmatique (p. ex., P10 : « [CairnFORM] étant lisible à 360 degrés, il est utile notamment pour les personnes à mobilité réduite. »).

Nous avons principalement identifié quatre commentaires négatifs récurrents :

- C1 : Neuf participants (10 %) ont rapporté qu'il était difficile de percevoir la différence de luminosité entre les anneaux (P16 : « C'est difficile de voir la différence de luminosité [entre les anneaux]. ») : lorsque l'anneau est fermé/ouvert, les arcs sont complètement/partiellement superposés. Plus les arcs en PMMA transparent sont superposés, plus la lumière voyage d'un arc à un autre par les arrêtes des arcs. Un participant nous a suggéré d'utiliser le changement de couleur plutôt que le changement de luminosité (p. ex., P16 : « Vous devriez changer la couleur plutôt que la luminosité [des anneaux] »).
- C2 : Cinq participants (5,6 %) ont déclaré qu'il était difficile de distinguer la différence de diamètre entre les anneaux (p. ex., P54 : « Parfois la différence de diamètre entre les anneaux n'est pas évidente, p. ex., entre 11:00 et 12:00 [de la variation 2] ») : Il semble qu'une granularité de 1 cm de diamètre soit trop petite pour être perçue. Un participant nous a suggéré d'augmenter cette granularité (P45 : « Vous devriez amplifier la différence de diamètre [entre les anneaux]. »).
- C3 : À première vue, un participant pensait que CairnFORM était une horloge (P61 : « Est-ce que c'est une horloge ? ») et un autre participant pensait qu'il s'agissait d'une sorte de compte à rebours (type sablier) pour l'évènement public (P59 : « Je pensais que c'était un décompte jusqu'à la fin de l'évènement. »).
- C4 : Un participant nous a conseillé de changer la couleur des anneaux de bleu à vert qui appelle plus aux énergies renouvelables (P33 : « Changez la couleur [des anneaux] en vert. Le vert est plus associé aux énergies renouvelables que le bleu. »).

7.9 Discussion et optimisation du prototype

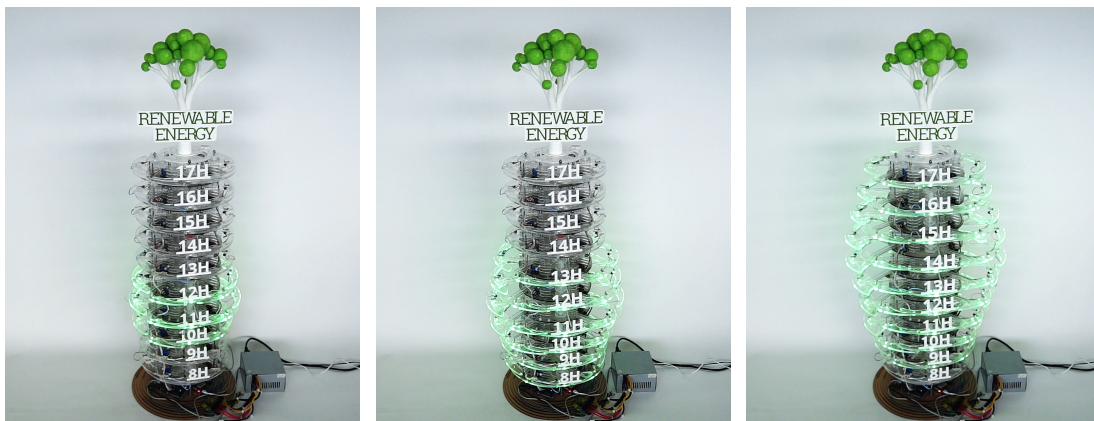
Pour appliquer des consignes permettant d'améliorer la propreté énergétique, CairnFORM doit être utilisable pour retrouver les variations et les pics de production. De plus, pour aller au-delà de comportements individuels et adopter de telles pratiques au niveau social, CairnFORM doit être un dispositif attractif et plaisant, favorisant les échanges et les discussions. Nous discutons maintenant les attributs de visualisation de CairnFORM, son attractivité et son utilisabilité pour la recherche d'information.

7.9.1 Attributs de visualisation de CairnFORM

Concernant le commentaire C1 sur la luminosité, nous avons choisi de conserver le changement de couleur pour encoder ultérieurement les données sur la charge des ordinateurs portables des employés. Pour répondre au commentaire C2 sur la distinction, nous avons décidé dans un premier temps de diminuer la granularité du diamètre des anneaux en passant de 1 cm à 2 cm (c.-à-d. d'une échelle de valeurs de 30 points à 15 points). De nouvelles études prenant en compte l'acuité visuelle à des distances différentes devraient être conduites pour déterminer des granularités possibles selon les distances d'observation.

Pour prendre en considération les commentaires C3 et C4 sur la symbolique de CairnFORM, nous avons changé la couleur des anneaux du bleu au vert et nous avons imprimé un modèle 3D d'un arbre et le texte « Renewable Energy » que nous avons ajouté au-dessus du dernier anneau pour faire office de légende aux données encodées les anneaux (voir figure 32).

Figure 32. Les nouveaux attributs pour mieux symboliser les énergies renouvelables.



7.9.2 Atouts pour l'attractivité sur lieux publics

D'après les auteurs du questionnaire UEQ-S (Schrepp et al., 2017), les scores moyens obtenus signifient que CairnFORM véhicule une « excellente » qualité hédoniste et une « bonne » qualité pragmatique dans son contexte d'usage, c'est-à-dire afficher un histogramme vertical avec symétrie de révolution pour visualiser une variation d'énergie renouvelable de la journée de travail. Ces valeurs sont des atouts pour favoriser l'attractivité de CairnFORM sur lieux publics ouverts et maintenir l'intérêt des utilisateurs au quotidien (p. ex., dans un bureau).

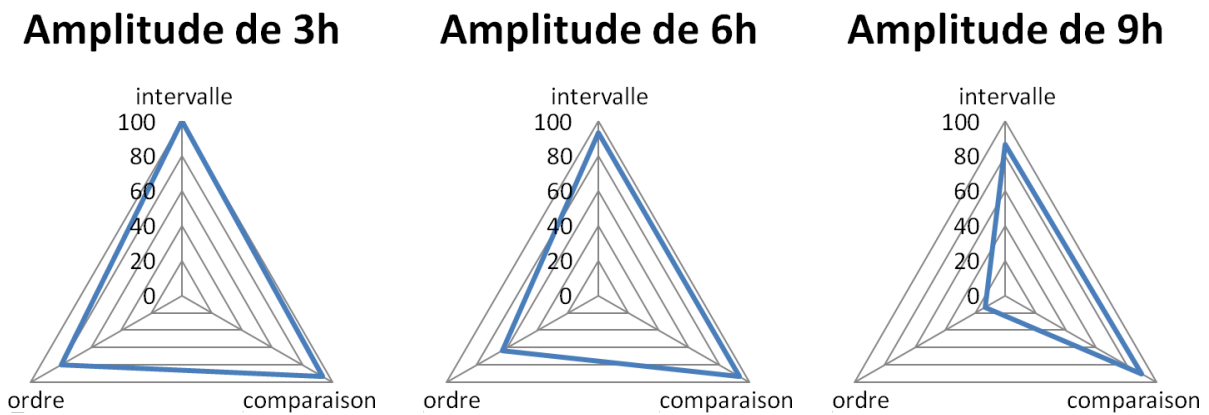
7.9.3 Utilisabilité pour la recherche d'information

Les taux de réussite de cette expérimentation montrent que les histogrammes verticaux avec symétrie de révolution sont utilisables pour les tâches d'intervalle et les tâches de comparaison sur des variations d'amplitudes et de durées différentes. Ce résultat confirme l'utilisabilité de CairnFORM pour mettre en œuvre les consignes de décalage de la consommation d'énergie.

De plus, nos résultats étendent ceux de Jansen et al. (2013), tout en les confirmant. Ces auteurs ont montré, en observant la vitesse de réalisation des tâches, que la réalisation de la tâche d'intervalle avec un histogramme physique est plus performante que celle de la tâche de comparaison, qui est elle-même plus performante que celle de la tâche d'ordonnancement. Nous obtenons la même relation d'ordre en observant, cette fois-ci, le taux de réussite des tâches (et non la vitesse). De plus, alors que Jansen et al. (2013) ont comparé deux interfaces pour trois tâches sur un seul jeu de données, nous avons comparé avec une interface les trois tâches pour trois jeux de données de complexité croissante. Là encore, nous identifions clairement une meilleure performance pour la tâche d'intervalle par rapport aux deux autres.

Nous avons également observé un nouveau phénomène : plus la variation à observer est grande, plus les taux de réussite de la tâche d'ordonnancement sont mauvais (voir figure 33). Ces mauvais taux semblent liés à la tâche. Nous émettons l'hypothèse que la cause est la limite de capacité de traitement de l'information (Miller, 1956). Comparer chaque valeur, sur les deux pentes, avant et après le pic demande beaucoup de comparaisons visuelles tout en se souvenant des valeurs déjà comparées, ce qui devient vite très difficile. Des expérimentations focalisées sur ce point restent à conduire pour confirmer cette observation.

Figure 33. Diagrammes de Kiviat des taux de réussite de chaque tâche pour le jeu de données.



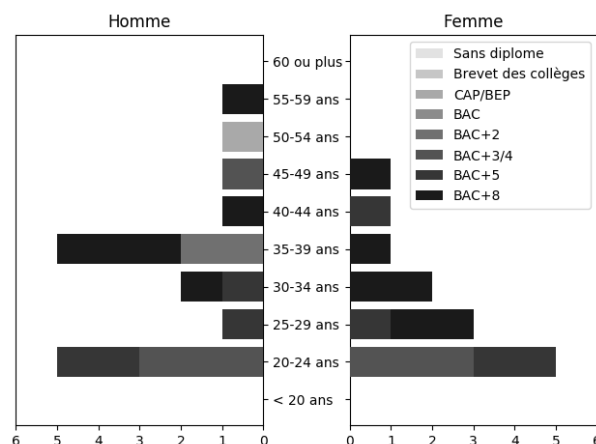
8 EXPERIMENTATION 2 : NOTIFIER DES CHANGEMENTS

Les variations de disponibilité des énergies renouvelables étant affichées les unes après les autres, les utilisateurs devront être notifiés de la fin d'une variation et de l'arrivée de la variation suivante, par exemple dans un bureau ou sur un plateau de bureaux. Le passage d'une variation à l'autre doit être perceptible, mais sans interrompre ou agacer au quotidien. Nous avons conduit une expérimentation afin d'évaluer le changement du diamètre des anneaux comme stimulus de notification. D'après Tynan et Sekuler (1982), la vitesse affecte la perception du mouvement dans le champ de vision périphérique : une vitesse lente (p. ex., 4 degrés/seconde) engendre un temps de perception du mouvement plus élevé qu'une vitesse rapide (p. ex., 16 degrés/seconde). En relation avec la vitesse, nous pensons que l'accélération joue un rôle dans la subtilité du mouvement en périphérie de l'attention. Nous avons réalisé une étude en condition de laboratoire dans laquelle nous avons étudié l'interaction périphérique des utilisateurs avec l'expansion et la rétraction d'un CairnFORM à 1 anneau pour une vitesse avec une accélération nulle, une accélération exponentielle et une accélération logarithmique (Daniel et al., 2019). En plus de la mesure des taux de réussite, nous avons évalué la quiétude des participants.

8.1 Participants

Les 30 participants (13 femmes, 17 hommes, Md 30-34 ans, Md Bac+5) ont été recrutés au sein de notre laboratoire, de notre service administratif et de notre campus. L'expérimentation a été conduite pendant une semaine, aux moments où les participants étaient disponibles. Les caractéristiques de l'échantillon sont présentées sur la pyramide des âges de la figure 34.

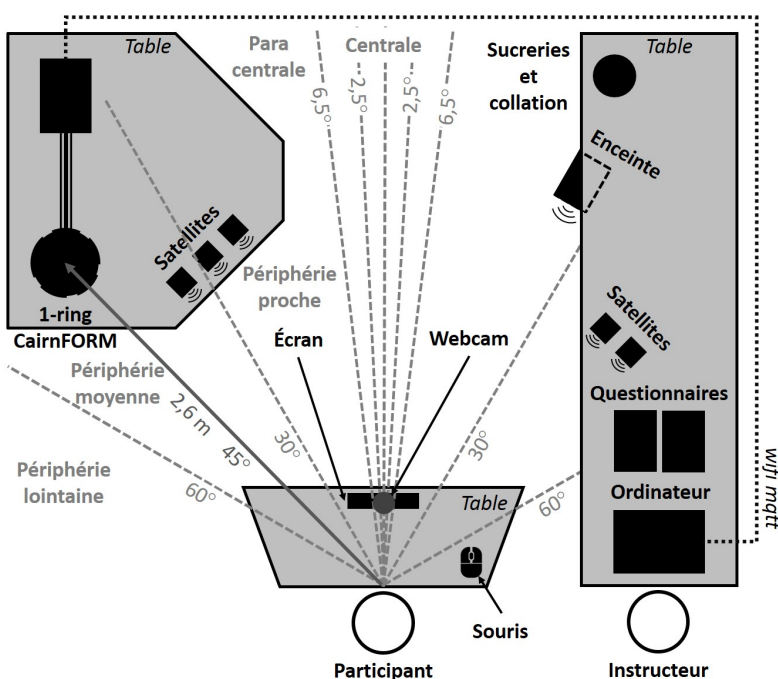
Figure 34. Pyramide de population des participants.



8.2 Installation

Le plan d'installation est illustré par la figure 35. Chaque participant était assis sur une chaise à 50 cm d'un écran d'ordinateur posé sur une table. Une caméra était fixée sur le dessus de l'écran. Le participant devait ajuster la hauteur de la chaise pour que son regard soit au niveau de la caméra. L'anneau était positionné à 2,6 m du participant, au milieu du champ de vision périphérique moyen gauche du participant (c.-à-d. un angle de 45 degrés vers la gauche lorsque l'on regarde le centre de l'écran). La vision périphérique moyenne est la région qui couvre de 30 degrés à 60 degrés de chaque côté du champ de vision humain (Gutwin et al., 2017) et qui définit la limite entre la vision périphérique proche et la vision périphérique lointaine. À 2,6 m du participant, le diamètre de l'anneau couvre 7 degrés du champ de vision lorsque l'anneau est complètement rétracté (la région de 41,5 degrés à 48,5 degrés) et 14 degrés lorsqu'il est complètement étendu (la région de 38 degrés à 52 degrés), ainsi l'anneau ne quitte jamais la vision périphérique moyenne.

Figure 35. Vue du dessus de l'environnement expérimental.



Pour déclencher le mouvement de l'anneau à distance, un serveur MQTT Mosquitto (Light, 2017) est installé sur le Raspberry Pi 3 de l'anneau qui est également configuré pour être un point d'accès wifi (Hotspot). L'ordinateur utilisé pour l'expérimentation est connecté en wifi au Raspberry Pi 3. En utilisant un client MQTT, l'ordinateur envoie un message au Raspberry Pi 3 qui déclenche le mouvement de l'anneau correspondant au message reçu.

Pour l'expérimentation, les participants devaient détecter le mouvement de l'anneau seulement avec la vue. Afin de réduire le bruit émis par le mouvement de l'anneau, nous avons utilisé une mousse que nous avons posée en dessous de l'anneau pour absorber les vibrations, ce qui a réduit le bruit de 60 dB à 50 dB (mesure répétée à 1 m de l'anneau avec trois applications sur smartphone et tablette). Pour masquer le bruit restant, les participants portaient un casque anti-bruit d'un affaiblissement de 30 dB SNR et un jeu d'enceintes 5.1, disposées autour du participant, diffusait du bruit blanc. Le bruit blanc était activé uniquement lors des tâches, il restait éteint lorsque des instructions étaient données ou que l'utilisateur complétait un questionnaire.

8.3 Modalités

Pour cette expérimentation, nous avons exploré deux types de mouvement :

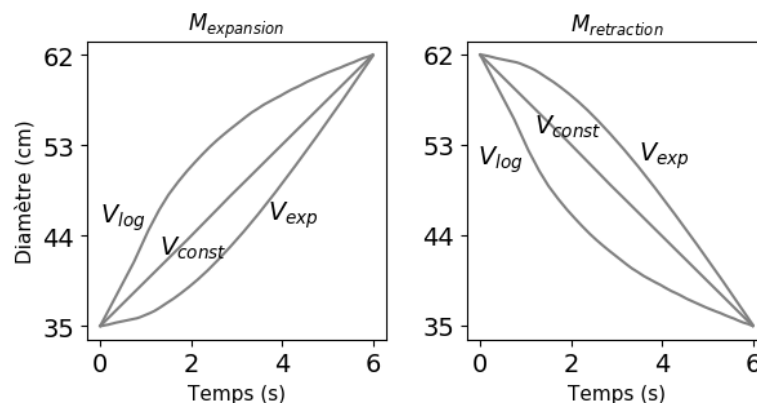
- $M_{\text{expansion}}$: le diamètre de l'anneau augmente de 35 cm à 62 cm en 6 s ;
- $M_{\text{rétraction}}$: le diamètre de l'anneau diminue de 62 cm à 35 cm en 6 s ;

Pour chaque type de mouvement, nous avons utilisé trois vitesses différentes :

- V_{const} : la vitesse du mouvement est constante dans le temps ;
- V_{exp} : la vitesse du mouvement est exponentielle dans le temps ;
- V_{log} : la vitesse du mouvement est logarithmique dans le temps.

La figure 36 illustre les trois vitesses pour les deux types de mouvement au cours du temps.

Figure 36. Expansion et rétraction du diamètre d'un anneau en 6 secondes selon les trois vitesses, constante, exponentielle et logarithmique.

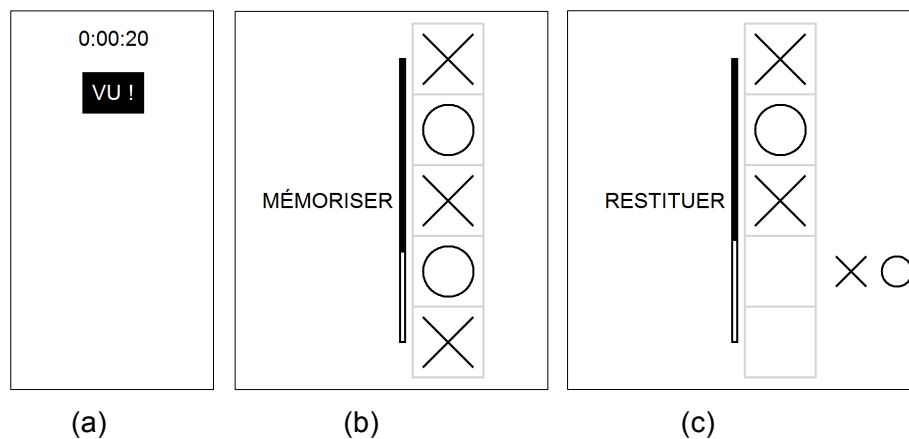


8.4 Tâches

Pour cette expérimentation, nous avons conçu deux tâches :

- $T_{\text{détection}}$: une tâche de détection périphérique avec le centre de l'attention. Nous avons conçu une première tâche pour évaluer la détection du mouvement de l'anneau avec la vision périphérique de l'utilisateur. Un bouton est affiché au milieu de l'écran. La tâche démarre lorsque l'utilisateur clique sur le bouton à l'aide du pointeur de la souris. Un compte à rebours et un bouton apparaissent en haut de l'écran pendant 25 secondes, comme montré par la capture d'écran de la figure 37a. L'utilisateur doit fixer son regard sur le compte à rebours et cliquer sur le bouton lorsqu'il détecte un mouvement de l'anneau avec la vision périphérique. Un mouvement est déclenché aléatoirement entre la 5^e et la 15^e seconde après le début de la tâche. La tâche se termine après 25 secondes ou plus tôt si le bouton est cliqué.
- $T_{\text{perception}}$: une tâche de perception périphérique avec la périphérie de l'attention. Nous avons conçu une seconde tâche pour évaluer la perception du mouvement de l'anneau en périphérie de l'attention de l'utilisateur pendant qu'il effectue une tâche principale au centre de l'attention. La tâche principale permet de distraire l'utilisateur et d'éloigner son attention de l'anneau (Hausen et al., 2014). La tâche principale fait appel à la mémoire à court terme de l'utilisateur (c.-à-d. type de mémoire qui permet de retenir et de réutiliser une quantité limitée d'informations pendant un temps relativement court, environ 30 s). Une séquence de N symboles (croix et ronds) est affichée verticalement à l'écran pendant $2N$ secondes, comme montré par la capture d'écran de la figure 37b. Une fois que la séquence a disparu, l'utilisateur doit reproduire la séquence, symbole par symbole. Toutes les 2 secondes, l'utilisateur doit restituer le prochain symbole de la séquence en cliquant sur la croix ou le rond affiché(e) à droite de l'écran, comme montré par la capture d'écran de la figure 37c. La tâche se termine après $2N$ secondes.

Figure 37. La tâche de vision périphérique (a) et la tâche de mémorisation à court terme (b) (c).



8.5 Procédure

Dans un premier temps, le contexte de l'étude fût expliqué au participant qui, par la suite, dût signer un questionnaire de consentement informé. Pendant 45 min, le participant a successivement traversé deux phases :

- $T_{détection}$ est présenté au participant. Le participant s'entraîne en effectuant la tâche une première fois. Ensuite, pour chaque vitesse, le participant effectue la tâche six fois (trois $M_{expansion}$ et trois $M_{rétraction}$) et complète un questionnaire.
- $T_{perception}$ est présentée au participant. Le participant s'entraîne en effectuant la tâche une première fois. Ensuite, le participant effectue la tâche plusieurs fois jusqu'à ce qu'il échoue à restituer un symbole (l'anneau reste immobile). À chaque fois, la taille N de la séquence suivante augmente d'un symbole. Enfin, pour chaque vitesse, le participant effectue la tâche sept fois (trois $M_{expansion}$, trois $M_{rétraction}$ et une fois sans mouvement) avec des séquences de $N=5$ symboles et complète un questionnaire.

Effectuer tous les exercices d'affilée est fatiguant. La durée totale de passage pour chaque participant avoisinait 45 min. Avant de passer à la deuxième phase, le participant a été invité à boire un jus d'orange et à manger des bonbons. Il était demandé aux participants de se concentrer sur l'écran et à ne pas regarder directement l'anneau. Nous avons utilisé un carré latin pour contrebalancer l'ordre des vitesses. Pour chaque participant, le même ordre a été répété dans les deux phases. À la fin de chaque phase, nous avons verbalement posé des questions au participant pour déterminer si oui ou non il avait ressenti une différence entre les vitesses.

8.6 Mesures et questionnaires

Pour la tâche $T_{détection}$, nous avons mesuré :

- Le temps de réaction : le temps écoulé entre le moment où le mouvement de l'anneau est déclenché et le moment où l'utilisateur clique sur le bouton à l'écran avec la souris.
- Les mouvements manqués : le nombre de fois où l'utilisateur a échoué à cliquer sur le bouton à l'écran avec la souris alors qu'il y avait un mouvement de l'anneau.
- Les mouvements hallucinés : le nombre de fois où l'utilisateur a cliqué sur le bouton à l'écran avec la souris alors qu'il n'y avait pas un mouvement de l'anneau.
- Les mouvements regardés : le nombre de fois où l'utilisateur a regardé l'anneau alors qu'il y avait un mouvement de l'anneau.

Pour la tâche $T_{perception}$, nous avons mesuré :

- La taille maximale : la taille de la plus grande séquence que l'utilisateur a réussi à restituer.
- Les symboles manqués : le nombre de fois où l'utilisateur n'a pas sélectionné un symbole.

- Les symboles erronés : le nombre de fois où l'utilisateur a sélectionné le mauvais symbole.
- Les mouvements regardés : le nombre de fois où l'utilisateur a regardé l'anneau alors qu'il était en mouvement.

À la fin de $T_{perception}$, les participants devaient répondre à deux questions affichées à l'écran avec la souris :

- Avez-vous perçu un mouvement de l'anneau ? Oui/Non.
- Si oui, quel type de mouvement avez-vous perçu ? Une expansion/Une rétraction/Je ne sais pas.

Pour chaque phase et pour chaque mouvement, nous avons demandé aux participants de remplir un questionnaire imprimé sur feuille A4. Le questionnaire incluait des questions telles que « Comment était le mouvement de l'anneau avec cette vitesse ? De calme (1) à agressif (5) ». Nous avons également pris note des commentaires verbaux des participants.

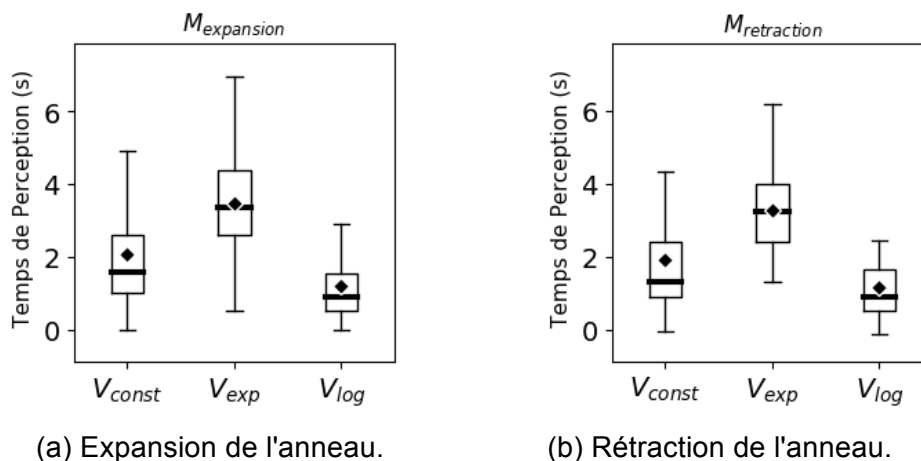
8.7 Outils

Face Reader 4 a été utilisé sur les enregistrements vidéo afin de détecter les regards des participants vers l'anneau alors que ce dernier était en mouvement. Manuellement, nous avons visionné les mouvements étiquetés par Face Reader pour valider ou non la présence d'un regard du participant vers l'anneau. Par la suite, nous avons retiré les temps de réaction des mouvements étiquetés comme « halluciné » ou « regardé » afin d'établir les mesures qu'à partir des mouvements d'anneau réellement détectés en vision périphérique. Puis, nous avons soustrait 200 ms à tous les temps de réaction (c.-à-d. le moment où le participant clique sur la souris) pour se rapprocher du temps de perception (c.-à-d. le moment où le participant perçoit le mouvement de l'anneau). 200 ms est le temps minimum dont le cerveau a besoin pour percevoir, traiter et réagir physiquement à un stimulus visuel : 150 ms de traitement visuel (Thorpe et al., 1996) et 50 ms de réaction musculaire pour des personnes en bonne santé (Radebold et al., 2000). Pour le traitement des données, les statistiques descriptives, les tests statistiques et la visualisation des résultats, nous avons utilisé Python 2.7 avec cinq bibliothèques : NumPy, Pandas, SciPy, StatsModels et Matplotlib. Les statistiques descriptives utilisées sont deux critères de position (la moyenne et la médiane) et quatre critères de dispersion (l'écart-type, les quartiles, le minimum et le maximum). Les deux tests statistiques utilisés pour les données quantitatives (p. ex., le temps de perception) sont une analyse de la variance (ANOVA) lorsque trois sont à comparer et le test de Student lorsque deux variables sont à comparer. Les deux tests statistiques utilisés pour les données qualitatives nominales (p. ex., la quantité de mouvements manqués) sont le test du χ^2 lorsque trois variables et le test exact de Fisher lorsque deux variables sont à comparer. Les deux tests statistiques utilisés pour les données qualitatives ordinales (p. ex., les réponses aux questionnaires sur une échelle de Likert) sont le test de Kruskal-Wallis lorsque trois variables sont à comparer et le test de tendance de Cochran-Armitage lorsque deux variables sont à comparer.

8.8 Résultats

Les sous-sections suivantes décrivent les résultats pour les deux tâches de détection en vision périphérique (c.-à-d. avec le centre de l'attention) et de perception en vision périphérique (c.-à-d. avec la périphérie de l'attention). Dans la suite, les scores donnés par les utilisateurs, sur une échelle de Likert de dimension 5, ont été reportés entre -2 et 2. Le premier constat de cette évaluation est que les résultats obtenus sur les types de mouvement de l'anneau sont similaires, que ce soit dans un mouvement d'expansion ($M_{expansion}$) ou un mouvement de rétraction ($M_{rétraction}$) étaient similaires. À titre d'exemple, voir les temps de détection sur la figure 38. Le test d'ANOVA bivariée indique en effet que le type de mouvement n'a pas eu d'effet sur les temps de détection ($p=0,28$). Pour cette raison, les sous-sections suivantes décrivent les résultats de l'expérimentation seulement en fonction de la vitesse du mouvement de l'anneau (V_{const} , V_{exp} et V_{log}).

Figure 38. Temps écoulé à la détection avec le centre de l'attention, selon le type de mouvement.



8.8.1 Détection périphérique avec le centre de l'attention : $T_{détection}$

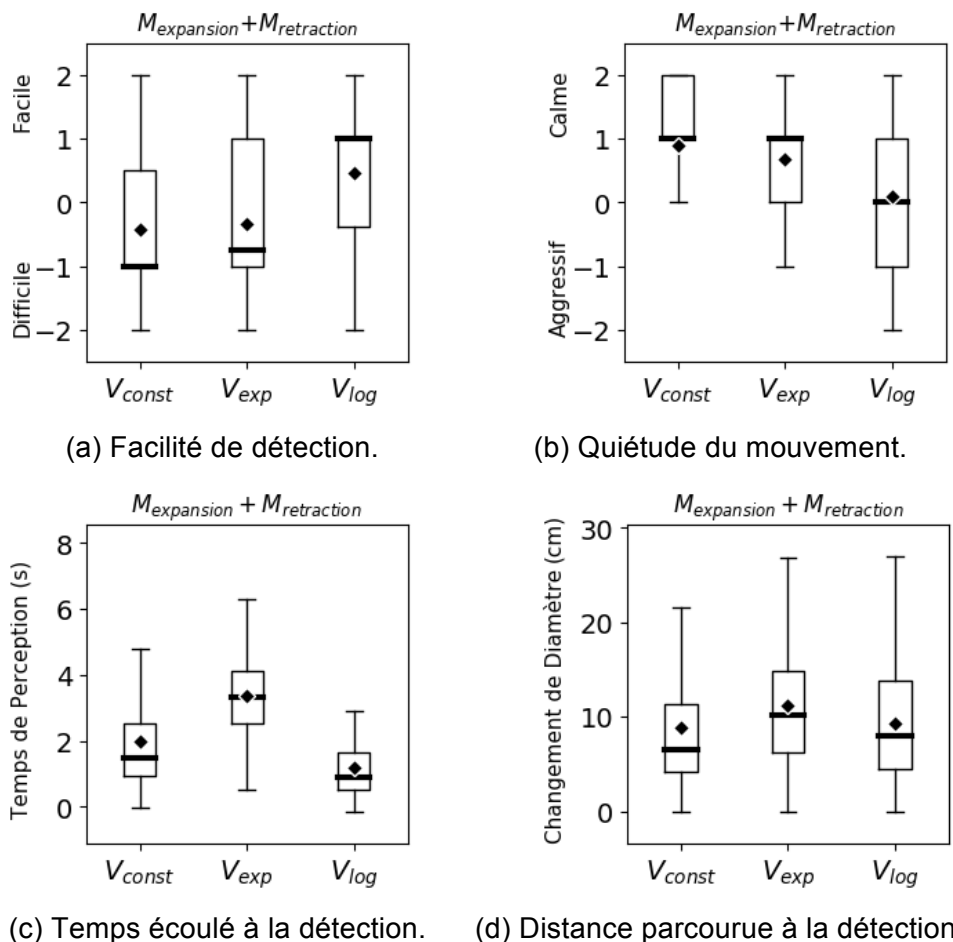
Les données sont disponibles sur 180 mouvements de V_{const} , 180 de V_{log} et 180 de V_{exp} . Les participants ont halluciné 10 fois des mouvements de V_{const} (5,6 %), 18 fois de V_{log} (10 %) et 10 fois de V_{exp} (5,6 %). Ils ont regardé l'anneau 12 fois pour V_{const} (6,7 %), 8 fois pour V_{log} (4,4 %) et 14 fois sur 180 de V_{exp} (7,8 %). Les données associées sont éliminées de la suite de l'analyse, afin d'établir les mesures qu'à partir des mouvements d'anneau réellement détectés en vision périphérique.

L'effet de la vitesse sur les taux de détection n'est pas statistiquement significatif ($p=0,73$). Les taux de réussite de la tâche $T_{détection}$ sont élevés. Les participants ont détecté 93 % de V_{const} (147 sur 158), 94,8 % de V_{log} (146 sur 154) et 95,2 % V_{exp} (158 sur 166). Les réponses aux questionnaires indiquent cependant un effet de la vitesse sur la facilité de détection ($p=0,01$). Les participants ont considéré que V_{log} (Md 1 pt) était le plus facile à détecter, puis V_{exp} (Md -0,75 pts) et enfin V_{const} (Md -1 pt). V_{log} est considéré significativement plus facile à détecter que V_{const} ($p=0,001$) et V_{exp} ($p=0,02$). Les diagrammes en boîte des scores relevés par les questionnaires sont présentés sur la figure 39a.

La vitesse a eu un effet sur les temps de détection ($p=0,001$). Les participants ont plus rapidement détecté V_{log} ($1,18 \pm 0,95$ s), que V_{const} ($1,99 \pm 1,49$ s) et que V_{exp} ($3,38 \pm 1,29$ s). Toutes ces différences sont significatives ($p=0,001$). La vitesse a eu aussi un effet sur le changement de diamètre après lequel le mouvement était détecté ($p=0,004$). V_{const} ($8,92 \pm 6,40$ cm) a été détecté après un changement de diamètre plus petit que V_{log} ($10,57 \pm 5,54$ cm) et que V_{exp} ($10,58 \pm 6,47$ cm). V_{log} et V_{exp} ont été significativement détectées après un même changement de diamètre ($p=0,01$). La figure 39c présente les diagrammes en boîte des temps de détection et la figure 39d présente ceux des changements de diamètre.

Enfin, la vitesse a eu un effet sur la quiétude des participants ($p=0,03$). Les participants ont évalué V_{const} et V_{exp} aussi calmes l'un que l'autre (tous deux à Md 1 pt) et V_{log} comme étant le moins calme (Md 0 pts). Les diagrammes en boîte des scores sur la quiétude sont présentés sur la figure 39b.

Figure 39. Scores et mesures pour la détection avec le centre de l'attention.



8.8.2 Perception périphérique avec la périphérie de l'attention : $T_{perception}$

Pour cette seconde tâche $T_{perception}$, les données sont également disponibles sur 180 mouvements de V_{const} , 180 de V_{log} et 180 de V_{exp} . Les participants ont halluciné deux fois des mouvements de V_{log} (1,1 %) alors que l'anneau restait immobile, aucun de V_{const} et de V_{exp} , et ont regardé l'anneau 13 fois pour V_{const} (7,2 %), sept fois pour V_{log} (3,8 %) et 13 fois pour V_{exp} (7,2 %). Les données associées sont éliminées de la suite afin d'établir l'analyse qu'à partir des mouvements d'anneau réellement détectés en vision périphérique.

La vitesse a eu un effet sur le taux de mouvements perçus ($p=0,004$). La perception des mouvements de V_{exp} (129 sur 167 ; 77,2 %) est significativement supérieure à celle de V_{const} (101 sur 167 ; 60,5 %) ($p=0,002$) et de V_{log} (115 sur 173 ; 66,5 %) ($p=0,03$). La vitesse a eu également un effet sur la facilité de la tâche ($p=0,04$). Alors que la tâche de restitution occupait le centre de leur attention, les participants ont considéré qu'il était plus facile de percevoir V_{exp} (Md 1 pt) que V_{const} (Md -0,25 pts) et que V_{log} (Md 0 pts) en périphérie de l'attention. Les diagrammes en boîte des scores de facilité de perception sont présentés sur la figure 40a.

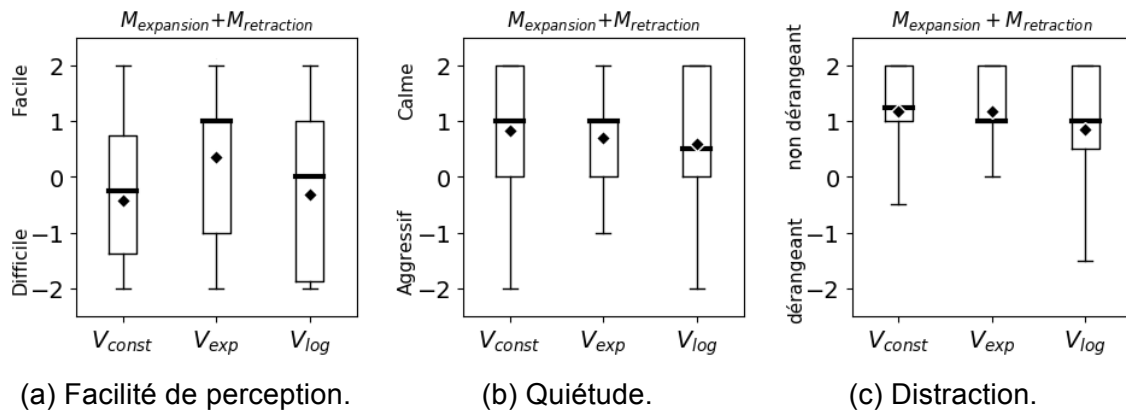
Cette fois, l'effet de la vitesse sur la quiétude n'est pas statistiquement significatif ($p=0,54$). Les participants ont cependant à nouveau évalué V_{const} et V_{exp} aussi calmes l'un que l'autre (tous deux à Md 1 pt) et plus calmes que V_{log} (Md 0,5 pts). Les diagrammes en boîte des scores sur la quiétude sont présentés sur la figure 40b.

L'effet de la vitesse sur la distraction des participants n'est pas statistiquement significatif ($p=0,73$). Les participants ont considéré que V_{const} était le moins dérangerant (Md 1,25 pts) et que V_{exp} et que V_{log} étaient aussi dérangerantes l'une que l'autre (toutes deux

à Md 1 pt). Les diagrammes en boîte des scores sur la distraction sont présentés sur la figure 40c.

Enfin, les participants ont correctement restitué plus de 99,99 % des symboles (20 sur 2700). Les erreurs ont été commises 6 fois avec V_{const} , 6 fois avec V_{log} et 8 fois avec V_{exp} . 90 % des symboles erronés ont été sélectionnés par les 60 % de participants (20 sur 30) qui n'ont pas restitué correctement une séquence supérieure à 9 symboles.

Figure 40. Scores pour la perception avec la périphérie de l'attention.



8.9 Discussion

Lors d'une première tâche, nous avons mesuré les temps de détection avec le centre de l'attention. Lors d'une seconde tâche, nous avons mesuré les taux de perception avec la périphérie de l'attention. Nous discutons maintenant le stimulus détecté par les utilisateurs, ainsi que le meilleur profil de vitesse pour notifier.

8.9.1 La vitesse comme stimulus

Les mouvements selon les trois vitesses V_{const} , V_{log} et V_{exp} ont été détectés à des moments différents, mais ont été détectés à des changements de diamètre sensiblement proches : en moyenne 8,92 cm à vitesse constante (33 % du mouvement), 10,57 cm à vitesse logarithmique (39 % du mouvement) et 10,58 cm à vitesse exponentielle (39 % du mouvement). Les changements de diamètre, en expansion et en rétraction, effectués au moment du temps de perception sont illustrés sur la figure 41. Cette observation suggère que, peu importe l'accélération, le stimulus détecté par l'utilisateur dans son champ de vision périphérique est le changement de taille. Ceci corrobore les conclusions de Graham (1965) et Kinchla (1976), selon lesquelles un mouvement est détecté lorsque la cible s'est déplacée d'une distance critique dans le champ de vision humain. Dans notre cas, un changement de diamètre de 8,92 cm à 10,58 cm avec un anneau à 2,6 m représente de 2,31 degrés à 2,74 degrés du champ de vision humain (c.-à-d. de 1,16 degrés à 1,37 degrés de chaque côté de l'anneau). En conséquence, un mouvement avec une vitesse plus rapide atteindra plus vite la distance critique et sera plus rapidement perçu. En revanche, dans notre cas, la rapidité de détection importe moins que le taux de réussite des notifications, pour accroître la propreté énergétique, et le ressenti de l'utilisateur, pour accepter le dispositif au quotidien. Nous analysons maintenant la meilleure vitesse pour notifier.

Figure 41. Changement de diamètre de l'anneau selon le temps de perception des participants.

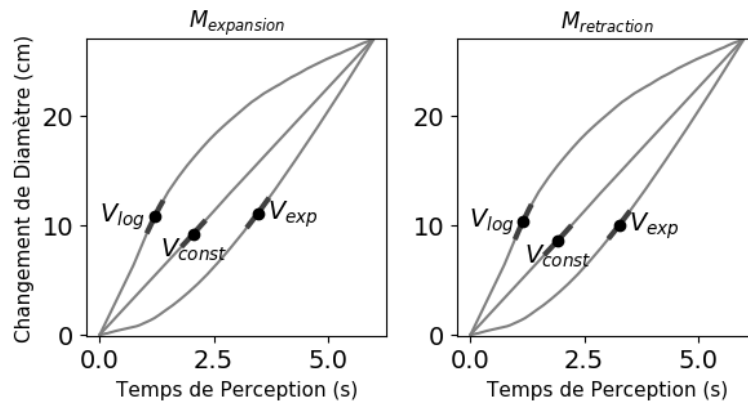
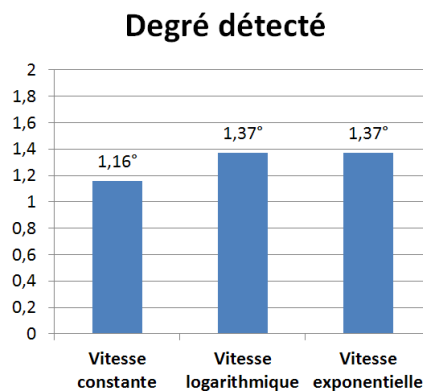


Figure 42. Changement perçu en degrés du champ de vision humain, de chaque côté de l'anneau.



8.9.2 Notifier les changements de variation

Nous venons de voir que, dans notre cas, la vitesse constante est perçue en premier. Cependant, en ce qui concerne le taux de notification et la facilité, les résultats sont, dans notre cas, en faveur d'une vitesse non constante.

D'un côté, les participants ont estimé être faiblement distraits par les mouvements de l'anneau (en moyenne 1,2 pts pour les trois vitesses) durant la tâche de restitution des séquences de symboles. De plus, la vitesse était sans effet sur la distraction. Même si nos anneaux peuvent réaliser les mêmes mouvements en parallèle en 3 secondes, nous avons choisi empiriquement une durée de 6 secondes pour tous les mouvements. D'autres durées, plus courtes ou plus longues, restent à étudier.

D'un autre côté, la vitesse a eu un effet sur la facilité de la tâche. Même si les différences ne sont pas toutes significatives, la vitesse constante a été évaluée la moins facile à détecter et à percevoir. En revanche, le choix entre les deux vitesses non-constantes semble dépendre de la tâche principale. Alors que la vitesse logarithmique a été jugée plus facile à détecter avec le centre de l'attention, c'est la vitesse exponentielle qui a été jugée plus facile à percevoir avec l'attention périphérique. Or, le test d'attention périphérique a été réalisé sur une seule tâche principale, de restitution de séquences de taille fixe de cinq symboles. Étendre à des tailles de séquences variables et à d'autres tâches principales, de niveaux de facilité et de concentration variables, comme celles proposées par Bailey et Konstan (2006), permettrait d'entériner le résultat : pour notre cas, la vitesse exponentielle est la plus appropriée.

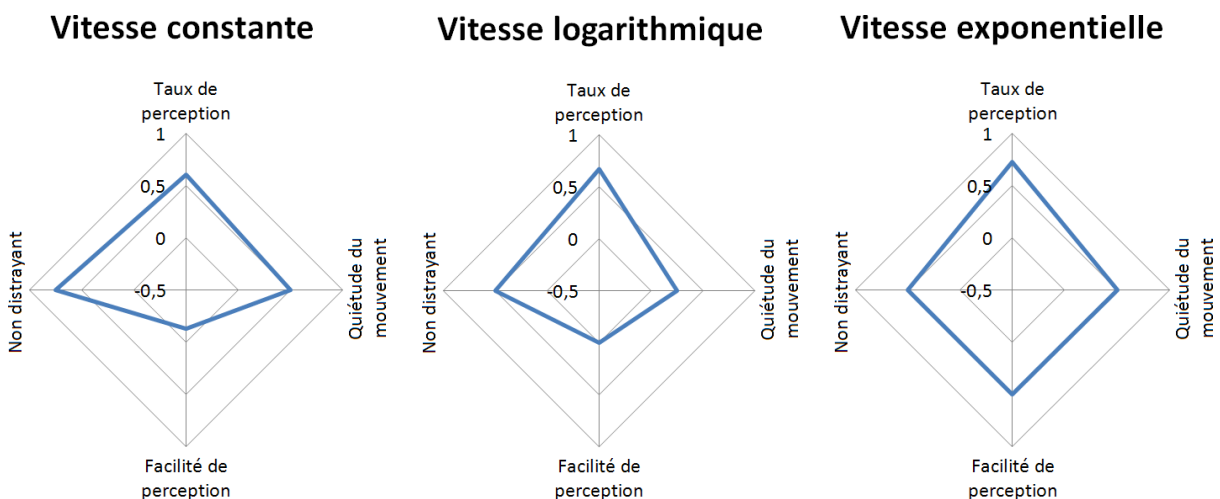
Peu de mouvements furent manqués avec le centre de l'attention : le taux de détection moyen de détection est de 94,33 % pour les trois vitesses, la vitesse n'ayant pas d'incidence significative sur la réussite de la tâche. En revanche, la vitesse a eu une incidence sur le taux de perception avec la périphérie de l'attention. La vitesse exponentielle a surpassé la

vitesse logarithmique de 5,7 points et la vitesse constante de 11,7 points. La différence entre les deux vitesses non constantes n'est cependant pas significative, mais au-delà de la performance, reste à examiner la quiétude des participants.

Un dispositif animé peut devenir agaçant au quotidien, surtout s'il perturbe, voire interrompt, des employés dans leur travail. Nous pensons que CairnFORM sera mieux accepté s'il est ressenti comme calme. Les statistiques indiquent un effet de la vitesse pour la première tâche de détection avec le centre de l'attention, mais pas pour la deuxième tâche de perception avec la périphérie de l'attention. Néanmoins, lors de ces deux tâches, la vitesse constante et la vitesse exponentielle ont été jugées comme les plus calmes, à égalité. Privilégier une vitesse constante plutôt qu'exponentielle ne semble donc pas justifiée dans notre cas.

Finalement, en raison de son meilleur taux de perception, et d'une quiétude équivalente à celle de la vitesse constante, les résultats sont, avec une tâche principale de restitution de symboles, en faveur de la vitesse exponentielle pour notifier sur un lieu de travail. Nous pensons qu'un meilleur taux de perception augmentera les opportunités de mettre en œuvre les pratiques de décalage de la consommation d'énergie. De plus, nous pensons que la quiétude des utilisateurs face au mouvement exponentiel favorisera l'acceptabilité au quotidien. Ces résultats sont synthétisés sur la figure 43.

Figure 43. Diagramme de Kiviat des différentes dimensions mesurées (normalisées) pour chaque vitesse.



9 CONCLUSION

Nous avons conçu un nouveau mécanisme d'anneau extensible illuminé et construit un prototype fonctionnel de diagramme cylindrique à changement de forme. Grâce à ces prototypes, nous avons conduit deux expérimentations qui ont produit trois résultats principaux. Tout d'abord, les taux de réussite de trois tâches élémentaires de recherche d'information ont été de 93,3 % pour la tâche d'intervalle, 92,2 % sur la tâche de comparaison et 52,2 % sur la tâche d'ordonnancement. Ensuite, sur des mouvements d'une durée de 6 secondes, le changement de taille critique détecté par les utilisateurs était de 8,92 cm pour une vitesse constante (33 % du mouvement) et respectivement de 10,57 cm et 10,58 cm pour la vitesse logarithmique et la vitesse exponentielle (39 % du mouvement), ce qui représente à 2,6 m de distance de 2,31 degrés à 2,74 degrés du champ de vision humain. Enfin, la vitesse exponentielle a obtenu le taux de perception le plus élevé (72,2 %), tout en étant considérée comme la plus calme avec la vitesse constante (toutes deux à 1 pt). Ces résultats montrent que CairnFORM, une interface avec changement de symétrie de révolution capable d'adapter la forme de différents « cairns » grâce à une pile modulaire d'anneaux extensibles illuminés, est utilisable pour retrouver les variations et les pics de production d'énergie renouvelable. Ces résultats indiquent aussi que le changement de taille

est vraisemblablement le stimulus perçu, plutôt que la vitesse du mouvement. De plus, nous pensons que la vitesse exponentielle, par son meilleur taux de perception et son bon niveau de quiétude, d'une part, augmentera les opportunités de mettre en œuvre les pratiques de décalage de la consommation d'énergie et, d'autre part, favorisera l'acceptabilité au quotidien de CairnFORM sur le lieu de travail. CairnFORM pourra ainsi contribuer à mettre en œuvre de nouvelles pratiques énergétiques en affichant des données de prévision de disponibilité des énergies renouvelables sur les micro-réseaux. Adopter de telles pratiques au niveau social permettra d'améliorer la propreté énergétique.

LES PERSPECTIVES D'APPLICATION DE CETTE RECHERCHE :

- ✓ Étendre les résultats de perception périphérique à d'autres tâches
- ✓ Établir des recommandations pour notifier avec des interfaces à changement de forme
- ✓ Conduire des études longitudinales pour observer la mise en application des consignes
- ✓ Améliorer la propreté énergétique sur les espaces publics et collectifs.

Les travaux de recherche en cours expérimentent la mise en œuvre de cette nouvelle pratique énergétique en déployant CairnFORM pendant deux mois dans des bureaux de type plateau de bureaux (open-space) afin de vérifier si ce dispositif permet d'assurer le suivi des consignes et de favoriser la consommation d'énergie renouvelable.

10 REFERENCES

- ▶ Alan, A. T., Costanza, E., Ramchurn, S. D., Fischer, J., Rodden, T., and Jennings, N. R. (2016). Tariff Agent: Interacting with a Future Smart Energy System at Home. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 23(4):25:1–25:28.
- ▶ Ardito, C., Buono, P., Costabile, M. F., and Desolda, G. (2015). Interaction with Large Displays: A Survey. *ACM Comput. Surv.*, 47(3):46:1–46:38.
- ▶ Ashmore, P. J. (1980). Low cairns, long cists and symbol stones. In *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland*, Volume 110, pp. 346–355.
- ▶ Backlund, S., Gyllenswärd, M., Gustafsson, A., Ilstedt Hjelm, S., Mazé, R., and Redström, J. (2007). Static! The aesthetics of energy in everyday things. In *Proceedings of the Design Research Society International Conference: Wonderground 2006*, DRS '06, pp. 109:1–109:14.
- ▶ Bailey, B. P. and Konstan, J. A. (2006). On the need for attention-aware systems: Measuring effects of interruption on task performance, error rate, and affective state. *Computers in Human Behavior*, 22(4):685–708.
- ▶ Bakker, S., van den Hoven, E., and Eggen, B. (2010). Design for the Periphery. In *Proceedings of the Eurohaptics 2010 Symposium on Haptic and Audio-Visual stimuli: Enhancing Experiences and Interaction*, pp. 71–80.
- ▶ Beyer, G., Alt, F., Müller, J., Schmidt, A., Isakovic, K., Klose, S., Schiewe, M., and Haulsen, I. (2011). Audience Behavior around Large Interactive Cylindrical Screens. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 1021–1030, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Blackshaw, M., DeVincenzi, A., Lakatos, D., Leithinger, D., and Ishii, H. (2011). Recompose: Direct and Gestural Interaction with an Actuated Surface. In *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, pp. 1237–1242, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Blevis, E. (2007). Sustainable Interaction Design: Invention & Disposal, Renewal & Reuse. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '07, pp. 503–512, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Boff, K. R., Kaufman, L., and Thomas, J. P. (1986). *Handbook of perception and human performance*, Volume 2. Wiley New York.
- ▶ Bolton, J., Wang, P., Kim, K., and Vertegaal, R. (2012). BodiPod: Interacting with 3D Human Anatomy via a 360° Cylindrical Display. In *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '12, pp. 1039–1042, New York, NY, USA. ACM.

- ▶ Bourgeois, J., van der Linden, J., Kortuem, G., Price, B. A., and Rimmer, C. (2014). Conversations with My Washing Machine: An In-the-wild Study of Demand Shifting with Self-generated Energy. In *Proceedings of the ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '14, pp. 459–470, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Broms, L. (2011). *Sustainable Interactions: Studies in the Design of Energy Awareness Artefacts*. Licenciate thesis. Department of Computer and Information Science, Linköping University, Sweden.
- ▶ Broms, L., Katzeff, C., Bång, M., Nyblom, Å., Hjelm, S. I., and Ehrnberger, K. (2010). Coffee Maker Patterns and the Design of Energy Feedback Artefacts. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '10, pp. 93–102, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Brynjarsdóttir, H., Håkansson, M., Pierce, J., Baumer, E., DiSalvo, C., and Sengers, P. (2012). Sustainably Unpersuaded: How Persuasion Narrows Our Vision of Sustainability. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 947–956, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ CAIRN. (1911). In *Encyclopædia Britannica*, Volume 4, page 950. CUP, Cambridge, UK, 11th edition.
- ▶ Cano, G., Laurillau, Y., and Calvary, G. (2015). Persuasive Technology and Energy: critical analysis of the state of the art. *Journal d'Interaction Personne-Système, Numéro spécial : PISTIL*, 4(1):48–68.
- ▶ Casado-Mansilla, D., Lopez-de-Armentia, J., Garaizar, P., and López-de-Ipiña, D. (2014). To Switch off the Coffee-maker or Not: That is the Question to Be Energy-efficient at Work. In *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '14, pp. 2425–2430, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Castelli, N., Stevens, G., Jakobi, T., and Schönau, N. (2016). Beyond Eco-feedback: Using Room as a Context to Design New Eco-support Features at Home. In *Advances and New Trends in Environmental and Energy Informatics: Selected and Extended Contributions from the 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection*, pp. 177–195. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- ▶ Colley, J. A., Bedwell, B., Crabtree, A., and Rodden, T. (2013). Exploring Reactions to Widespread Energy Monitoring. In *Proceedings of the 14th IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction*, INTERACT 2013, pp. 91–108, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- ▶ Costanza, E., Bedwell, B., Jewell, M. O., Colley, J., and Rodden, T. (2016). 'A Bit Like British Weather, I Suppose': Design and Evaluation of the Temperature Calendar. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pp. 4061–4072, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Costanza, E., Fischer, J. E., Colley, J. A., Rodden, T., Ramchurn, S. D., and Jennings, N. R. (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, pp. 813–822, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Costanza, E., Ramchurn, S. D., and Jennings, N. R. (2012). Understanding Domestic Energy Consumption through Interactive Visualisation: A Field Study. In *Proceedings of the ACM Conference on Ubiquitous Computing*, UbiComp '12, pp. 216–225, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Coutaz, J. (2013). Essai sans prétention sur l'Interaction Homme-Machine et son évolution. *Bulletin de la Société Informatique de France*, (1):15–33.
- ▶ Daniel, M., Rivière, G., and Couture, N. (2018). Designing an Expandable Illuminated Ring to Build an Actuated Ring Chart. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '18, pp. 140–147, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Daniel, M., Rivière, G., and Couture, N. (2019). CairnFORM: a Shape-Changing Ring Chart Notifying Renewable Energy Availability in Peripheral Locations. In *Proceedings of the 13th ACM International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, TEI '19, pp. 275–286, New York, NY, USA. ACM.

- ▶ Daniel, M., Rivière, G., Couture, N., and Kreckelbergh, S. (2016). Une analyse des Systèmes Interactifs et Persuasifs pour la maîtrise de l'énergie. In *Actes de la 28e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM 2016*, pp. 197–210, Fribourg, Switzerland. ACM Press.
- ▶ Darby, S. (2006). *The effectiveness of feedback on energy consumption: A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays*. Technical report, Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford, UK.
- ▶ Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., and Nacke, L. (2011). From Game Design Elements to Gamefulness: Defining Gamification. In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments, MindTrek '11*, pp. 9–15, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ DiSalvo, C., Sengers, P., and Brynjarsdóttir, H. (2010). Mapping the Landscape of Sustainable HCI. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '10*, pp. 1975–1984, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Dunn, B., Kamath, H., and Tarascon, J.-M. (2011). Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices. *Science*, 334(6058):928–935.
- ▶ Elbanhawy, E. Y., Smith, A. F. G., and Moore, J. (2016). Towards an Ambient Awareness Interface for Home Battery Storage System. In *Proceedings of the ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct, UbiComp '16*, pp. 1608–1613, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Engquist, E. (2009). *BOEL-lampan: Utveckling av en lampa för visualisering av elförbrukning i hemmet*. Master's thesis, Mälardalen University, Sweden.
- ▶ Erickson, T., Li, M., Kim, Y., Deshpande, A., Sahu, S., Chao, T., Sukaviriya, P., and Naphade, M. (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*, pp. 1203–1212, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Evans, H., Hansen, H., and Hagedorn, J. (2009). Artful Media: Nuage Vert. *IEEE MultiMedia*, 16(3):13–15.
- ▶ Faruqi, A., Sergici, S., and Sharif, A. (2010). The impact of informational feedback on energy consumption—A survey of the experimental evidence. *Energy*, 35(4):1598–1608.
- ▶ Filonik, D., Medland, R., Foth, M., and Rittenbruch, M. (2013). A Customisable Dashboard Display for Environmental Performance Visualisations. In *Proceedings of the 8th International Conference on Persuasive Technology, PERSUASIVE '13*, pp. 51–62, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- ▶ Fischer, J. E., Ramchurn, S. D., Osborne, M., Parson, O., Huynh, T. D., Alam, M., Pantidi, N., Moran, S., Bachour, K., Reece, S., Costanza, E., Rodden, T., and Jennings, N. R. (2013). Recommending Energy Tariffs and Load Shifting Based on Smart Household Usage Profiling. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI '13*, pp. 383–394, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Fogg, B. J. (1998). Persuasive Computers: Perspectives and Research Directions. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '98*, pp. 225–232, New York, NY, USA. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- ▶ Fogg, B. J. (2002). Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do. *Ubiquity*, 2002(December), Article 5.
- ▶ Foster, D., Lawson, S., Blythe, M., and Cairns, P. (2010). Wattsup?: Motivating Reductions in Domestic Energy Consumption Using Social Networks. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries, NordiCHI '10*, pp. 178–187, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Froehlich, J., Findlater, L., and Landay, J. (2010). The Design of Eco-feedback Technology. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '10*, pp. 1999–2008, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Gamberini, L., Spagnoli, A., Corradi, N., Jacucci, G., Tusa, G., Mikkola, T., Zamboni, L., and Hoggan, E. (2012). Tailoring Feedback to Users' Actions in a Persuasive Game for Household

- Electricity Conservation. In *Proceedings of the 8th International Conference on Persuasive Technology*, PERSUASIVE '12, pp. 100–111, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- ▶ Genolini, C., Ecochard, R., Benghezal, M., Driss, T., Andrieu, S., Subtil, F. (2016). kmlShape: An Efficient Method to Cluster Longitudinal Data (Time-Series) According to Their Shapes. *PLoS ONE*, 11(6):e0150738.
 - ▶ Graham, C. H. (1965). *Vision and visual perception*. Wiley.
 - ▶ Graml, T., Loock, C.-M., Baeriswyl, M., and Staake, T. (2011). Improving residential energy consumption at large using persuasive systems. In *European Conference on Information Systems*, ECIS '11, pp. 1–15. AIS Electronic Library. Paper 184.
 - ▶ Grönvall, E., Kinch, S., Petersen, M. G., and Rasmussen, M. K. (2014). Causing Commotion with a Shape-changing Bench: Experiencing Shape-changing Interfaces in Use. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 2559–2568, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Gulbinas, R., Jain, R. K., and Taylor, J. E. (2014). BizWatts: A modular socio-technical energy management system for empowering commercial building occupants to conserve energy. *Applied Energy*, 136:1076–1084.
 - ▶ Guna, J. and Pogačnik, M. (2013). Ambient visualization of energy consumption information. *International SERIES on Information Systems and Management in Creative eMedia*, (2):37–42.
 - ▶ Gustafsson, A. and Gyllenswärd, M. (2005). The Power-aware Cord: Energy Awareness through Ambient Information Display. In *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '05, pp. 1423–1426, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Gutwin, C., Cockburn, A., and Coveney, A. (2017). Peripheral Popout: The Influence of Visual Angle and Stimulus Intensity on Popout Effects. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, pp. 208–219, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Ham, J. and Midden, C. (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, pp. 132–142, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
 - ▶ Hamari, J., Koivisto, J., and Pakkanen, T. (2014a). Do Persuasive Technologies Persuade? - A Review of Empirical Studies. In *Proceedings of the 9th International Conference on Persuasive Technology*, PERSUASIVE '14, pp. 118–136, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
 - ▶ Hamari, J., Koivisto, J., and Sarsa, H. (2014b). Does Gamification Work? – A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. In *Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 3025–3034, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
 - ▶ Hasselqvist, H., Bogdan, C., and Kis, F. (2016). Linking Data to Action: Designing for Amateur Energy Management. In *Proceedings of the ACM Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '16, pp. 473–483, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Hausen, D., Boring, S., Lueling, C., Rodestock, S., and Butz, A. (2012). StaTube: Facilitating State Management in Instant Messaging Systems. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, TEI '12, pp. 283–290, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Hausen, D., Tabard, A., von Thermann, A., Holzner, K., and Butz, A. (2014). Evaluating Peripheral Interaction. In *Proceedings of the 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, TEI '14, pp. 21–28, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Hazas, M., Brush, A. J. B., and Scott, J. (2012). Sustainability Does Not Begin with the Individual. *Interactions*, 19(5):14–17.
 - ▶ Heibeck, F., Tome, B., Della Silva, C., and Ishii, H. (2015). uniMorph: Fabricating Thin Film Composites for Shape-Changing Interfaces. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology*, UIST '15, pp. 233–242, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Heller, F. and Borchers, J. (2011). PowerSocket: Towards On-outlet Power Consumption Visualization. In *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, pp. 1981–1986, New York, NY, USA. ACM.

- ▶ Hoberman, C. (1991). *Radial expansion/retraction truss structures*. US Patent 5,024,031.
- ▶ Holmes, T. G. (2007). Eco-visualization: Combining Art and Technology to Reduce Energy Consumption. In *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI Conference on Creativity & Cognition, C&C '07*, pp. 153–162, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Horev, O. (2006). *'TALKING TO THE HAND' An exploration into shape shifting objects and morphing interfaces*. Master's thesis, Interaction Design Institute Ivrea, Ivrea, Italy.
- ▶ Ishii, H., Lakatos, D., Bonanni, L., and Labrune, J.-B. (2012). Radical Atoms: Beyond Tangible Bits, Toward Transformable Materials. *Interactions*, 19(1):38–51.
- ▶ Jain, R. K., Taylor, J. E., and Peschiera, G. (2012). Assessing eco-feedback interface usage and design to drive energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*, 48(1):8–17.
- ▶ Jansen, Y., Dragicevic, P., and Fekete, J.-D. (2013). Evaluating the Efficiency of Physical Visualizations. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '13*, pp. 2593–2602, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Jansen, Y., Dragicevic, P., Isenberg, P., Alexander, J., Karnik, A., Kildal, J., Subramanian, S., and Hornbæk, K. (2015). Opportunities and Challenges for Data Physicalization. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, pp. 3227–3236, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Jansen, Y., Karrer, T., and Borchers, J. (2010). MudPad: Localized Tactile Feedback on Touch Surfaces. In *Adjunct Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '10*, pp. 385–386, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Jensen, R. H., Kjeldskov, J., and Skov, M. B. (2016). HeatDial: Beyond User Scheduling in Eco-Interaction. In *Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction, NordiCHI '16*, pp. 74:1–74:10, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Johnson, D., Deterding, S., Kuhn, K.-A., Staneva, A., Stoyanov, S., and Hides, L. (2016). Gamification for health and wellbeing: A systematic review of the literature. *Internet Interventions*, 6:89–106.
- ▶ Jönsson, L., Broms, L., and Katzeff, C. (2010). Watt-Lite: Energy Statistics Made Tangible. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems, DIS '10*, pp. 240–243, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Kim, J.-W., Kim, Y.-K., and Nam, T.-J. (2009). The Ténééré: Design for Supporting Energy Conservation Behaviors. In *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '09*, pp. 2643–2646, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Kim, S., Kim, H., Lee, B., Nam, T.-J., and Lee, W. (2008). Inflatable Mouse: Volume-adjustable Mouse with Air-pressure-sensitive Input and Haptic Feedback. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '08*, pp. 211–224, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Kim, T., Hong, H., and Magerko, B. (2010). Design Requirements for Ambient Display That Supports Sustainable Lifestyle. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems, DIS '10*, pp. 103–112, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Kinchla, R. A. (1976). A psychophysical model of visual-movement perception. In *Eye movements and psychological processes*, pp. 263–275. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, USA.
- ▶ Kjeldskov, J., Skov, M. B., Paay, J., Lund, D., Madsen, T., and Nielsen, M. (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*, pp. 388–396, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Kjeldskov, J., Skov, M. B., Paay, J., and Pathmanathan, R. (2012). Using Mobile Phones to Support Sustainability: A Field Study of Residential Electricity Consumption. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12*, pp. 2347–2356, New York, NY, USA. ACM.

- ▶ Knowles, B. (2013). Re-imagining Persuasion: Designing for Self-transcendence. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '13, pp. 2713–2718, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Knowles, B., Bates, O., and Håkansson, M. (2018). This Changes Sustainable HCI. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 471:1–471:12, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Knowles, B., Blair, L., Coulton, P., and Lochrie, M. (2014a). Rethinking Plan A for Sustainable HCI. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 3593–3596, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Knowles, B., Blair, L., Walker, S., Coulton, P., Thomas, L., and Mullagh, L. (2014b). Patterns of Persuasion for Sustainability. In *Proceedings of the Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '14, pp. 1035–1044, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Lakatos, D. (2012). *AMPHORM: Form Giving through Gestural Interaction to Shape Changing Objects*. Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA.
- ▶ Le Goc, M., Kim, L. H., Parsaei, A., Fekete, J.-D., Dragicevic, P., and Follmer, S. (2016). Zooids: Building Blocks for Swarm User Interfaces. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, pp. 97–109, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Lee, J., Post, R., and Ishii, H. (2011). ZeroN: Mid-air Tangible Interaction Enabled by Computer Controlled Magnetic Levitation. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, pp. 327–336, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Leithinger, D. and Ishii, H. (2010). Relief: A Scalable Actuated Shape Display. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '10, pp. 221–222, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Light, R. A. (2017). Mosquito: server and client implementation of the MQTT protocol. *Journal of Open Source Software*, 2(13):265:1–265:2.
- ▶ Liu, T., Ding, X., Liu, P., Lu, T., and Gu, N. (2016). ArchiExpression: A Physical Eco-Feedback Display in an Outdoor Campus Space of China. In *Proceedings of the Fourth International Symposium on Chinese CHI*, ChineseCHI'16, pp. 5:1–5:10, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Luo, X., Wang, J., Dooner, M., and Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*, 137:511–536.
- ▶ Ma, G., Lin, J., Li, N., and Zhou, J. (2017). Cross-cultural assessment of the effectiveness of eco-feedback in building energy conservation. *Energy and Buildings*, 134:329–338.
- ▶ Mankoff, J. C., Blevis, E., Borning, A., Friedman, B., Fussell, S. R., Hasbrouck, J., Woodruff, A., and Sengers, P. (2007). Environmental Sustainability and Interaction. In *CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '07, pp. 2121–2124, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Masoodian, M., André, E., Kugler, M., Reinhart, F., Rogers, B., and Schlieper, K. (2014). USEM: A ubiquitous smart energy management system for residential homes. *International Journal on Advances in Intelligent Systems*, 7(3&4):519–532.
- ▶ Milenkovic, M., Hanebutte, U., Huang, Y., Prendergast, D., and Pham, H. (2013). Improving User Comfort and Office Energy Efficiency with POEM (Personal Office Energy Monitor). In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '13, pp. 1455–1460, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Miller, G. A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review*, 63(2):81–97.
- ▶ Monigatti, P., Apperley, M., and Rogers, B. (2010). Power and Energy Visualization for the Micro-management of Household Electricity Consumption. In *Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '10, pp. 325–328, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Nakagaki, K., Vink, L., Counts, J., Windham, D., Leithinger, D., Follmer, S., and Ishii, H. (2016). Materiable: Rendering Dynamic Material Properties in Response to Direct Physical Touch with

- Shape Changing Interfaces. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pp. 2764–2772, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Negri, A.-L. and Senach, B. (2015). Ludo-persuasive systems for sustainable consumption. *Journal d'Interaction Personne-Système, Numéro spécial : PISTIL*, 4(1):141–162.
 - ▶ Paay, J., Kjeldskov, J., Skov, M. B., Lund, D., Madsen, T., and Nielsen, M. (2014). Design of an Appliance Level Eco-feedback Display for Domestic Electricity Consumption. In *Proceedings of the 26th Australian Computer-Human Interaction Conference on Designing Futures: The Future of Design*, OzCHI '14, pp. 332–341, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Pereira, L., Quintal, F., Barreto, M., and Nunes, N. J. (2013). Understanding the Limitations of Eco-feedback: A One-Year Long-Term Study. In *Human-Computer Interaction and Knowledge Discovery in Complex, Unstructured, Big Data*, Volume 7947 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 237–255. Springer Berlin Heidelberg.
 - ▶ Petersen, D., Steele, J., and Wilkerson, J. (2009). WattBot: A Residential Electricity Monitoring and Feedback System. In *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '09, pp. 2847–2852, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Petkov, P., Goswami, S., Köbler, F., and Krčmar, H. (2012). Personalised Eco-feedback As a Design Technique for Motivating Energy Saving Behaviour at Home. In *Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense through Design*, NordiCHI '12, pp. 587–596, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Petkov, P., Köbler, F., Foth, M., and Krčmar, H. (2011). Motivating Domestic Energy Conservation through Comparative, Community-based Feedback in Mobile and Social Media. In *Proceedings of the 5th International Conference on Communities and Technologies*, C&T '11, pp. 21–30, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Piccolo, L. S. G., Baranauskas, C., and Azevedo, R. (2017). A socially inspired energy feedback technology: challenges in a developing scenario. *AI & Society*, 32(3):383–399.
 - ▶ Pierce, J. and Paulos, E. (2010). Materializing Energy. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '10, pp. 113–122, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Pierce, J. and Paulos, E. (2012a). Beyond Energy Monitors: Interaction, Energy, and Emerging Energy Systems. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 665–674, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Pierce, J. and Paulos, E. (2012b). The Local Energy Indicator: Designing for Wind and Solar Energy Systems in the Home. In *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference*, DIS '12, pp. 631–634, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Pierce, J., Strengers, Y., Sengers, P., and Bødker, S. (2013). Introduction to the Special Issue on Practice-oriented Approaches to Sustainable HCI. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 20(4):20:1–20:8.
 - ▶ Pousman, Z. and Stasko, J. (2006). A Taxonomy of Ambient Information Systems: Four Patterns of Design. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '06, pp. 67–74, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Quintal, F., Jorge, C., Nisi, V., and Nunes, N. (2016). Watt-I-See: A Tangible Visualization of Energy. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '16, pp. 120–127, New York, NY, USA. ACM.
 - ▶ Quintal, F., Pereira, L., Nunes, N., Nisi, V., and Barreto, M. (2013). WATTSBurning: Design and Evaluation of an Innovative Eco-Feedback System. In *Proceedings of the 14th IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction*, INTERACT 2013, pp. 453–470, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
 - ▶ Quintal, F., Pereira, L., Nunes, N. J., and Nisi, V. (2015). What-a-Watt: Exploring Electricity Production Literacy through a Long Term Eco-Feedback Study. In *Proceedings of the Sustainable Internet and ICT for Sustainability Conference*, SustainIT '15, pp. 1–6. IEEE.
 - ▶ Radebold, A., Cholewicki, J., Panjabi, M. M., and Patel, T. C. (2000). Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine*, 25(8):947–954.

- ▶ Rasmussen, M. K., Pedersen, E. W., Petersen, M. G., and Hornbæk, K. (2012). Shape-changing Interfaces: A Review of the Design Space and Open Research Questions. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 735–744, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Regan, T., Sweeney, D., Helmes, J., Vlachokyriakos, V., Lindley, S., and Taylor, A. (2015). Designing Engaging Data in Communities. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '15, pp. 271–274, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Rivière, G. (2019). L'Interaction Homme-Machine contre le changement climatique : retour sur une controverse. *Journal d'Interaction Personne-Système, Numéro Spécial : PISTIL*, 8(1), article 1, 10 pages.
- ▶ Rivière, G. and Kreckelbergh, S. (2012). La StationENR pour sensibiliser aux énergies renouvelables par la modélisation de micro-réseaux. In *Adjunct Proceedings of the Conférence sur l'Ergonomie et l'Interaction Homme-Machine*, Ergo'IHM '12, pp. 63–66.
- ▶ Rodgers, J. and Bartram, L. (2011). Exploring Ambient and Artistic Visualization for Residential Energy Use Feedback. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(12):2489–2497.
- ▶ Schrammel, J., Gerdenitsch, C., Weiss, A., Kluckner, P. M., and Tscheligi, M. (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*, Aml '11, pp. 157–166, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- ▶ Schrepp, M., Hinderks, A., and Thomaschewski, J. (2017). Design and Evaluation of a Short Version of the User Experience Questionnaire (UEQ-S). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(6):103–108.
- ▶ Schwartz, T., Deneff, S., Stevens, G., Ramirez, L., and Wulf, V. (2013). Cultivating Energy Literacy: Results from a Longitudinal Living Lab Study of a Home Energy Management System. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 1193–1202, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Seah, S. A., Drinkwater, B. W., Carter, T., Malkin, R., and Subramanian, S. (2014). Correspondence: Dexterous ultrasonic levitation of millimeter-sized objects in air. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 61(7):1233–1236.
- ▶ Sherif, A. and Do, E. Y.-L. (2008). Energy Puppet: An Ambient Awareness Interface for Home Energy Consumption. In *Digital Proceedings of the 7th International Workshop on Social Intelligence Design*, SID '08. 7 pages.
- ▶ Shrubsole, P., Lavrysen, T., Janse, M., and Weda, H. (2011). Flo: Raising Family Awareness about Electricity Use. In *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, pp. 669–672, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Simm, W., Ferrario, M. A., Friday, A., Newman, P., Forshaw, S., Hazas, M., and Dix, A. (2015). Tiree 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, pp. 1965–1974, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Skinner, B. F. (1976). *About behaviorism*. Vintage Books, New York, NY, USA.
- ▶ Snow, S., Vyas, D., and Brereton, M. (2015). When an eco-feedback system joins the family. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(5):929–940.
- ▶ Sohn, M., Nam, T., and Lee, W. (2009). Designing with Unconscious Human Behaviors for Eco-friendly Interaction. In *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '09, pp. 2651–2654, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Strohmeier, P., Gomes, A., Troiano, G. M., Mottelson, A., Merritt, T., and Alexander, J. (2016). Sharing Perspectives on the Design of Shape-Changing Interfaces. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, pp. 3492–3499, New York, NY, USA. ACM.

- ▶ Stusak S., Tabard A., Sauka F., Khot R., and Butz A. (2014). Activity sculptures: Exploring the impact of physical visualizations on running activity. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 20(12):2201–2210.
- ▶ Sutherland, I. E. (1965). The ultimate display. Multimedia: From Wagner to virtual reality. In *Proceedings of the IFIP Congress*, pp. 506–508.
- ▶ Taher, F., Hardy, J., Karnik, A., Weichel, C., Jansen, Y., Hornbæk, K., and Alexander, J. (2015). Exploring Interactions with Physically Dynamic Bar Charts. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 3237–3246, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Telea, A. C. (2014). *Data Visualization: Principles and Practice, Second Edition*. A. K. Peters, Ltd., Natick, MA, USA.
- ▶ Thorpe, S., Fize, D., and Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 381(6582):520–522.
- ▶ Tilley, C. (2004). *The materiality of stone: explorations in landscape phenomenology*. Berg publishers, Oxford, UK.
- ▶ Togler, J., Hemmert, F., and Wettach, R. (2009). Living Interfaces: The Thrifty Faucet. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '09, pp. 43–44, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Tran, Q. (2014). Promoting energy efficient behavior through energy-related feedback. In *Proceedings of the International Conference on Collaboration Technologies and Systems*, CTS '14, pp. 611–615. IEEE.
- ▶ Tremblay, O. and Dessaint, L.-A. (2009). Experimental validation of a battery dynamic model for EV applications. *World Electric Vehicle Journal*, 3(1):1–10.
- ▶ Tynan, P. D. and Sekuler, R. (1982). Motion processing in peripheral vision: Reaction time and perceived velocity. *Vision research*, 22(1):61–68.
- ▶ Valkanova, N., Jordà, S., Tomitsch, M., and Vande Moere, A. (2013). Reveal-it!: The Impact of a Social Visualization Projection on Public Awareness and Discourse. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 3461–3470, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Vine, D., Buys, L., and Morris, P. (2013). The Effectiveness of Energy Feedback for Conservation and Peak Demand: A Literature Review. *Open Journal of Energy Efficiency*, 2(1):7–15.
- ▶ Weiser, M. and Brown, J. S. (1996). Designing calm technology. *PowerGrid Journal*, 1(1):75–85.
- ▶ Weiss, M., Mattern, F., Graml, T., Staake, T., and Fleisch, E. (2009). Handy Feedback: Connecting Smart Meters with Mobile Phones. In *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, MUM '09, pp. 15:1–15:4, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Wickens, C. D. and McCarley, J. S. (2007). *Applied attention theory*. CRC press.
- ▶ Wisneski, C., Ishii, H., Dahley, A., Gorbet, M. G., Brave, S., Ullmer, B., and Yarin, P. (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, pp. 22–32, London, UK. Springer-Verlag.
- ▶ Wu, A. (2010). Tangible Visualization. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '10, pp. 317–318, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Yamada, W., Yamada, K., Manabe, H., and Ikeda, D. (2017). iSphere: Self-Luminous Spherical Drone Display. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '17, pp. 635–643, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Yao, L., Niiyama, R., Ou, J., Follmer, S., Della Silva, C., and Ishii, H. (2013). PneuUI: Pneumatically Actuated Soft Composite Materials for Shape Changing Interfaces. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pp. 13–22, New York, NY, USA. ACM.

- ▶ Yao, L., Ou, J., Cheng, C.-Y., Steiner, H., Wang, W., Wang, G., and Ishii, H. (2015). bioLogic: Natto Cells As Nanoactuators for Shape Changing Interfaces. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1–10, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Yun, R., Aziz, A., Scupelli, P., Lasternas, B., Zhang, C., and Loftness, V. (2015). Beyond Eco-Feedback: Adding Online Manual and Automated Controls to Promote Workplace Sustainability. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1989–1992, New York, NY, USA. ACM.
- ▶ Yun, T.-J. (2009). Investigating the Impact of a Minimalist In-home Energy Consumption Display. In *CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '09, pp. 4417–4422, New York, NY, USA. ACM.

11 BIOGRAPHIE



Maxime DANIEL

est Doctorant en Informatique, spécialité Interaction Homme-Machine, à l'ESTIA et au LaBRI. Master en Informatique (Bordeaux, 2015). Qualifié aux fonctions de Maître de Conférences (Section CNU 27). Sa recherche porte sur l'interaction tangible. Il étudie les interfaces utilisateur tangibles appliquées à la maîtrise de l'énergie, notamment la représentation tangible dynamique des interfaces à changement de formes.



Guillaume RIVIÈRE

est Professeur Assistant en informatique à l'école d'ingénieurs ESTIA. Docteur en Informatique, spécialité Interaction Homme-Machine (Bordeaux, 2009), Autorisé à Diriger des Thèses (Bordeaux, 2015). Qualifié aux fonctions de Maître de Conférences (Section CNU 27). Il enseigne la programmation et les systèmes d'information aux élèves ingénieurs, et intervient sur les interfaces ubiquitaires en cycle ingénieur et en master à l'université. Son domaine de recherche est l'interaction tangible depuis 2005. Ses recherches, conduites à Estia-Recherche et au LaBRI, portent sur l'étude des propriétés des interfaces utilisateur tangibles et sur la classification des interfaces utilisateur tangibles. Il applique ses recherches à des domaines comme la géophysique, l'archéologie et, plus récemment, l'intégration des énergies renouvelables. Il a co-créé et co-animé le GT Interaction Tangible de l'AFIHM de 2011 à 2018. Depuis 2019, il co-anime le GT Interaction Persuasive pour la Soutenabilité de l'AFIHM (PISTIL). Il est membre de la Société Informatique de France (SIF), de l'Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (AFIHM) et de l'Association for Computing Machinery (ACM).



Nadine COUTURE

est Professeur en Informatique à l'école d'ingénieur ESTIA. Elle a obtenu un doctorat en combinatoire énumérative en 1994 et l'Habilitation à Diriger des Recherches en Interaction Homme-Machine en 2010. Elle enseigne les fondamentaux de l'informatique aux élèves ingénieurs, algorithmiques, technologies du web, langages de programmation, systèmes mobiles. Ses recherches sont menées à Estia-Recherche, UPR de l'ESTIA, dont elle est Directrice, et au LaBRI, UMR CNRS 5800 de l'Université de Bordeaux. Depuis 2001, elle s'intéresse à l'Interaction Tangible, de l'incarnation physique des données vers l'interaction avec tout le corps. Elle a initié en 2014 les European Tangible Interaction Studios (ETIS) et est membre du steering committee depuis. En 2010, elle a co-fondé la PEPSS, Plateforme d'Evaluation, de Prototypage et de teSts d'uSages. Elle est membre de l'AFIHM. Nadine Couture développe les liens recherche-entreprise et à ce titre elle est co-responsable de l'axe Interaction-Homme Système et Réalité Augmenté du Groupement d'Intérêt Scientifique Albatros (ALLiance Bordeaux universities And Thales Research in AviOnicS), co-animatrice du Domaine d'Activité Stratégique (DAS) Interactions Homme Système du pôle de Compétitivité Aerospace-Valley et vice-Présidente du CATIE, le Centre Aquitain des Technologies de l'Information et Électroniques.

12 ANNEXES

Liste des références bibliographiques des 67 systèmes interactifs du corpus.

	Nom	Référence
1	7,000 Oaks and Counting	(Holmes, 2007)
2	Abstract Ambient	(Rodgers and Bartram, 2011)
3	Agent B	(Costanza et al., 2014)
4	AgentSwitch	(Fischer et al., 2013)
5	Ambient Battery Level	(Elbanhawy et al., 2016)
6	ArchiExpression	(Liu et al., 2016)
7	BizWatts	(Gulbinas et al., 2014)
8	BoEL	(Engquist, 2009)
9	Conversation WashMachine	(Bourgeois et al., 2014)
10	Coralog	(Kim et al., 2010)
11	Customisable Dashboard	(Filonik et al., 2013)
12	E-point	(Monigatti et al., 2010)
13	eAMBI	(Guna and Pogačnik, 2013)
14	Eco-aware CoffeeMaker	(Casado-Mansilla et al., 2014)
15	EcoFeedback	(Ma et al., 2017)
16	Ecosphere	(Snow et al., 2015)
17	eForecast	(Kjeldskov et al., 2015)
18	Energy Aware Clock	(Broms et al., 2010)
19	Energy Local Lamp	(Pierce and Paulos, 2010)
20	Energy Orb	(Faruqui et al., 2010)
21	Energy Plant	(Broms, 2011)
22	EnergyPuppet	(Sherif and Do, 2008)
23	Energy Tree	(Piccolo et al., 2017)
24	EnergyDub	(Erickson et al., 2013)
25	EnergyLife	(Gamberini et al., 2012)
26	EnergySavings	(Tran, 2014)
27	Energy Wiz	(Petkov et al., 2011)
28	FigureEnergy	(Costanza et al., 2012)
29	Flo	(Shrubsole et al., 2011)
30	Flower Lamp	(Backlund et al., 2007)
31	FORE-Watch	(Schrammel et al., 2011)
32	Handy Feedback	(Weiss et al., 2009)
33	HeatDial	(Jensen et al., 2016)
34	HEMS	(Schwartz et al., 2013)
35	Housing Cooperative Energy App	(Hasselqvist et al., 2016)
36	ID-O	(Yun et al., 2015)
37	Lightning feedback display	(Ham and Midden, 2010)
38	Limit Eco-Feedback	(Pereira et al., 2013)
39	Local Energy Indicator	(Pierce and Paulos, 2012)

40	Mobile ECD	(Yun, 2009)
41	MyLocalEnergy	(Castelli et al., 2016)
42	Nuage Vert	(Evans et al., 2009)
43	Personal Energy Dashboard	(Colley et al., 2013)
44	Personalized Eco-Feedback	(Petkov et al., 2012)
45	POEM	(Milenkovic et al., 2013)
46	Power-Aware Cord	(Gustafsson and Gyllenswärd, 2005)
47	PowerAdvisor	(Kjeldskov et al., 2012)
48	PowerSocket	(Heller and Borchers, 2011)
49	PowerViz	(Paay et al., 2014)
50	Pull-me-out Power Cord	(Sohn et al., 2009)
51	Reveal-it!	(Valkanova et al., 2013)
52	Share Aware Light	(Broms, 2011)
53	Stationary ECD	(Yun, 2009)
54	StationENR	(Rivière and Kreckelbergh, 2012)
55	TariffAgent	(Alan et al., 2016)
56	TemperatureCalendar	(Costanza et al., 2016)
57	Tiree Energy Pulse	(Simm et al., 2015)
58	Ténééré	(Kim et al., 2009)
59	USEM	(Masoodian et al., 2014)
60	Velix	(Graml et al., 2011)
61	Watt's Watt	(Jain et al., 2012)
62	Watt-I-See	(Quintal et al., 2016)
63	Watt-Lite	(Jönsson et al., 2010)
64	WattBot	(Petersen et al., 2009)
65	WATTSBurning	(Quintal et al., 2013)
66	Wattson	(Foster et al., 2010)
67	What-a-Watt	(Quintal et al., 2015)