

Expérimentation de mécanismes d'incitations de flexibilité énergétique auprès d'employés d'un bâtiment tertiaire

**Benoit Delinchant^{1*}, Jérôme Ferrari¹, Tiansi Laranjeira¹, Frédéric Wurtz¹,
Béatrice Roussillon², Sabrina Teyssier², Daniel Llerena²**

¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, F-38000 Grenoble, France

² Univ. Grenoble Alpes, CNRS, INRA, Grenoble INP, GAEL, F-38000 Grenoble

*benoit.delinchant@G2ELab.grenoble-inp.fr

RESUME. Dans le cadre des mécanismes de flexibilité de l'électricité, les occupants des bâtiments peuvent être mis à contribution pour baisser, anticiper ou reporter leur consommation en fonction de signaux qui leur sont envoyés. Cet article présente la mise en place à l'échelle du bâtiment GreEn-ER, d'une expérimentation visant à étudier l'efficacité de mécanismes d'incitation tels que le concours honorifique et le tournoi monétaire. La procédure et l'infrastructure technique permettant la réalisation de cette expérience est décrite, en commençant par la collecte des données individuelles anonymées, puis par les analyses automatisées des données pour le calcul des indicateurs. Nous faisons enfin une synthèse des résultats de l'expérience.

MOTS-CLÉS : flexibilité indirecte, living lab, monitoring

ABSTRACT. Under the flexibility mechanisms of electricity, the occupants of buildings can be called upon to lower, anticipate or postpone their consumption according to signals sent to them. This article presents the implementation at the scale of the GreEn-ER building of an experiment aimed at studying the effectiveness of incentive mechanisms such as the honorary contest and the monetary tournament. The procedure and the technical infrastructure enabling this experiment to be carried out are described, starting with the collection of anonymous individual data, then with automated data analyzes for the calculation of indicators. We finally summarize the results of the experiment.

KEYWORDS : flexibility, living lab, monitoring.

1. VERS DE LA FLEXIBILITE DIFFUSE AVEC L'HUMAIN DANS LA BOUCLE

1.1. IMPORTANCE DE LA FLEXIBILITE ENERGETIQUE

Les programmes de planification énergétique mettent en avant l'importance de la diversification des mix énergétiques, en favorisant la pénétration des énergies renouvelables et de récupération (PPE 2019). Mais l'introduction de plus en plus grande d'énergie intermittentes à l'échelle des quartiers conduit à des problèmes d'élasticité des sources d'énergie. La multiplicité et la répartition diffuse de ces sites de production auront pour conséquence de modifier les rôles des acteurs traditionnels des réseaux locaux. Nous devons donc être capables d'étudier les conséquences de cette transformation des systèmes énergétiques, afin d'adapter à la fois les infrastructures et le pilotage du réseau multi-fluides.

L'ADEME a proposé un scénario de mix 100% renouvelable à travers la France à l'horizon 2050 [5]. Selon ce rapport, la flexibilité des bâtiments pourrait aider à gérer l'équilibre réseau de la demande de pointe de 100 GW à hauteur de 18%. Les consommations pilotables étant essentiellement le chauffage, la ventilation et la climatisation (HVAC) pour 14 GW, et les ballons d'eau chaude sanitaire pour 4 GW.

Les principaux outils de flexibilité du système électrique permettant de garantir l'équilibre de l'offre et de la demande dans ce contexte, sont le pilotage de la demande, l'effacement, l'interruptibilité, le stockage et les interconnexions. Nous nous intéressons dans ce travail à l'effacement des consommations dans le tertiaire. La France a été le premier pays européen autorisant les consommateurs à valoriser leurs effacements en faisant appel à un opérateur d'effacement sans devoir obtenir l'accord préalable de leur fournisseur. Un mécanisme de reversement est donc mis en place de l'opérateur d'effacement au fournisseur en contrepartie du transfert d'énergie.

1.2. LA FLEXIBILITE INDIRECTE PAR LES OCCUPANTS

Selon le rapport du Centre de Régulation Européenne sur « Smart Consumers in the Internet of Energy - Flexibility Markets and Services from Distributed Energy Resources » (Giulietti et al., 2019), il est peu probable que la capacité de stockage compense entièrement la volatilité de l'offre. La viabilité d'un futur marché de l'énergie verte dépend essentiellement de différentes manières innovantes d'augmenter l'élasticité de la demande. La tarification dynamique de l'électricité devrait se généraliser pour les ménages. Actuellement basée sur la quantité d'énergie (kWh), elle dépendra alors également des appels de puissance (kW). La complexité de la tarification et l'introduction de la production locale d'énergie, en auto-consommation individuelle ou collective, ne permettra plus une prise de décision humaine optimale. Des acteurs de la flexibilité apparaissent donc pour mettre en œuvre des services de conseil et de pilotage. Ce changement de paradigme conduit à un consommateur flexible.

Il est intéressant de considérer deux types de pilotage de la demande, selon qu'il est opéré directement sur des équipements (type délestage), ou par les occupants eux même via des services d'alerte ou de conseil. Nous faisons dans le *Tableau 1* un bref comparatif des avantages et inconvénients des deux approches.



Flexibilité directe		Flexibilité indirecte par les occupants
Temps de réponse rapide		Temps de réponse lent
Garantie du pilotage		Flexibilité non garantie
Automatisé		Charge cognitive pour l'occupant
Nécessite des équipements coûteux		Uniquement le smartphone des occupants
Ne cible que quelques charges		Donne accès à un plus gros potentiel
Intrusif + intervention sur site		Non intrusif et renforçant positivement

Tableau 1 : Comparaison entre la flexibilité directe et indirecte

Les performances énergétiques des bâtiments seront dans les prochaines années extrêmement sensibles aux usagers. L'introduction des automatismes au service de la flexibilité énergétique offre de multiples avantages. Malgré tout, se substituer complètement aux décisions des acteurs n'est pas la solution, car satisfaire des objectifs individuels reste un réel challenge, et leur désengagement une cause certaine d'échec des solutions techniques mises en place.

Le modèle transthéorique du changement¹ indique que l'humain passe par des phases successives dont il est important d'avoir conscience et dont les prochaines innovations devront tenir compte (Daniel et al. 2016). Des études, permettant de mettre les occupants en situation de choix vis-à-vis de leur consommation, doivent donc être menées afin d'analyser les comportements et imaginer des solutions innovantes pour l'avenir. Nous présentons dans la suite l'expérience que nous avons menée dans le Living-Lab GreEn-ER.

2. PRESENTATION DE L'ETUDE « EXPE GREEN-ER »

2.1. LIVING-LAB GREEN-ER

La plateforme Predis-MHI du G2ELab a été conçue et développée depuis 2008 afin de monitorer les usages énergétiques en situation réelle (Dang et al, 2013). Depuis 2016, la version 2 de Predis-MHI est au sein du bâtiment GreEn-ER et se positionne comme un living lab (Delinchant et al, 2016) dans lequel il est possible d'expérimenter et d'innover en lien avec les occupants.

Ce bâtiment de 23000m² accueille environ 2000 personnes dont principalement des étudiants, mais aussi des agents techniques et administratifs, et des chercheurs. La consommation était en 2018 de

¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle_transthéorique_de_changement

120kWh_{EP}/m². La part de consommation électrique est prépondérante (75%) car seuls le chauffage et une partie de l'eau chaude sanitaire (cuisine du restaurant universitaire) ne sont pas d'origine électrique.

2.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

La question principale que nous nous sommes posée a été de comparer l'efficacité relative de mécanismes d'incitation en matière de « réactivité des employés » à des signaux d'effacement, ainsi que de leurs impacts dans la durée. Cette analyse doit en particulier nous permettre d'évaluer les capacités de flexibilité indirecte dans un bâtiment tertiaire. Enfin, cette expérimentation nous a permis de concevoir et valider une solution technologique pour le déploiement de tels mécanismes, allant des systèmes d'interaction avec les occupants aux traitement automatique des données.

La laboratoire d'économie appliquée de Grenoble (GAEL) a conduit cette expérimentation afin de tester deux mécanismes d'incitation. Deux types de motivations sont définies dans la littérature :

- Motivation intrinsèque : Elle se produit quand les individus sont intérieurement motivés pour faire quelque chose parce qu'elle leur apporte un plaisir, une satisfaction morale ou autre.
- Motivation extrinsèque : Elle se produit quand des facteurs externes interviennent comme l'environnement, la rémunération et les conditions du travail.

Les deux mécanismes d'incitation mis en place vont exploiter ces 2 types de motivations avec un concours honorifique et un tournoi monétaire (Buckley et al. 2017).

- i) Concours honorifique : Le gagnant du concours reverse à l'association de son choix une cagnotte et il y a une diffusion publique du nom gagnant. Il s'agit d'un « nudge² » avec une motivation extrinsèque (affichage du nom du gagnant) et intrinsèque (don à une association de son choix).
- ii) Tournoi monétaire, avec la répartition des gains suivante :
 - a. %50 de la cagnotte va au participant gagnant du tournoi
 - b. %50/(n-1) de la cagnotte va à tous les autres participants (avec « n » le nombre de participants)

Dans ces deux mécanismes d'incitation, la cagnotte du concours honorifique ou du tournoi monétaire dépend de l'effort de tous les participants. Cette cagnotte varie donc et peut se situer entre 0 si aucun participant ne fait d'effort à 300€ si tous les participants font l'effort maximal possible. Ces deux mécanismes d'incitation feront donc l'objet de deux traitements dans notre protocole expérimental. Un premier traitement dit « concours » et un deuxième traitement dit « tournoi ».

2.3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Le protocole expérimental s'est étalé sur une année, du recrutement des sujets (ici uniquement le personnel, pas d'étudiants) au rendu des résultats, le timing du protocole se découpe en quatre phases :

- Phase 1 : Recrutement des sujets, présentation de l'étude et période d'observation
- Phase 2 : Mise en place du traitement 1 dit « concours »
- Phase 3 : Mise en place du traitement 2 dit « tournoi »
- Phase 4 : Analyse et diffusion des résultats

Les participants ont été informés successivement de la mise en place du concours, puis du tournoi. Les gagnants du concours et du tournoi étaient révélés en même temps à la fin des deux traitements.

2.3.1. Tâches et mesure de l'effort

Les participants recevaient des messages textes sur leur téléphone le matin du jour de la période d'effacement leur indiquant quand ils leur étaient demandés de s'effacer. Pendant cette période de

² « Coup de coude » en anglais

temps, les participants devaient diminuer leur consommation au maximum. Les équipements disponibles dans un bureau « type » sont un ordinateur et son écran, ainsi qu'une lampe de bureau à LED. Une telle configuration consomme de 20W à 80W selon les modèles d'ordinateur et le travail réalisé (bureautique, simulation numérique...). Le potentiel d'effacement pour 200 bureaux a été évalué à 8000W, ce qui reste très faible à l'échelle du bâtiment. Aussi, cette étude vise plus particulièrement la méthodologie d'effacement que l'effacement en lui-même.

Afin de déterminer les gagnants, nous devons déterminer si la variation de consommation était calculée de manière relative ou absolue. Le cas d'une variation relative pose un problème de biais stratégique qui aurait été de maximiser la consommation avant la période d'effacement. De plus ce calcul favorise les gros consommateurs. Le cas d'une variation absolue pose le problème des personnes absentes et favorise les petits consommateurs. Nous avons finalement opté pour un mode de calcul absolu, en nous assurant que les sujets étaient bien des personnes régulièrement présentes. Par ailleurs, ce mode de calcul favorise les personnes déjà sobres et évite les problèmes de sur-consommation pour l'employeur.

2.3.2. Procédure de recrutement

Le nombre de sujets potentiels a été évalué à 200 personnes. Nous comptons donc initialement sur 3 groupes, composés de sujets distincts, mais similaires entre eux :

- Groupe 1 « contrôle » : 40 sujets
- Groupe 2 « Traitement Concours » : 50 sujets
- Groupe 3 « Traitement Tournois » : 50 sujets

Le taux de participation a été de 13% avec 26 sujets inscrits, ce qui reste un nombre acceptable pour ce type d'expérimentation. Malheureusement, nous nous attendions à plus dans ce contexte particulier de GreEn-ER. Ceux ayant répondu sont des personnels administratifs (11), techniques (4), doctorants (7) et enseignants-chercheurs (4). Une des explications que nous pouvons avancer vient de la nécessité d'observer la consommation des employés, ce qui a pu être ressenti comme une surveillance de leur productivité. De plus, demander aux employés de ne pas consommer de l'énergie a pu être ressentie comme un frein à leur productivité. Nous n'avons donc réalisé qu'un seul groupe avec les deux traitements successifs tel que décrit dans le timing du protocole.

2.3.3. Choix des périodes d'effacement

Nous avons choisi d'effacer les consommations soit sur une plage de 45 minutes pendant la pause déjeuner, soit sur trois plages de 15 minutes réparties sur la journée. Le fait d'effacer les consommations pendant la pause déjeuner permettait de perturber le moins possible le travail des employés tout en exploitant un gisement de flexibilité. Les données de consommation ont alors été recueillies sur 3 périodes de même durée : avant, pendant, et après la période de traitement.

Semaine 1	Mardi 9/10			Jeudi 11/10		
Type d'effacement	Avant	Pendant	Après	Avant	Pendant	Après
45'	11h15/12h00	12h00/12h45	12h45/13h30			
3x15'				11h30/11h45	11h45/12h00	12h00/12h15
				14h00/14h15	14h15/14h30	14h30/14h45
				15h45/16h00	16h00/16h15	16h15/16h30

Tableau 2 : plages d'effacement

En tout, 20 signaux ont été envoyés, en jour de semaine exception faite du mercredi, 4 sur des plages de 45mn et 16 sur des plages de 15 mn, pour un total de 7h pour chaque traitement.

3. MONITORING DES CONSOMMATIONS

La donnée principale de cette expérimentation a été la mesure des consommations au poste de travail. Malgré 1500 capteurs, dont 300 capteurs électriques, les données individuelles par poste n'étaient disponibles que dans une petite partie du bâtiment (zone Predis-MHI), et pas à l'ensemble du bâtiment. Il a donc été nécessaire de déployer un réseau secondaire de capteurs.

3.1. CAPTEUR INDIVIDUEL DE CONSOMMATION ELECTRIQUE

Un système de capteurs communicants permettant la collecte des données en temps réel a été préféré à une solution non communicante. En effet, la période de l'étude s'étalant sur presque une année, il a été jugé nécessaire d'avoir régulièrement des retours d'information.

Le capteur communicant retenu est le Fibaro Wallplug™. Il transmet la puissance jusqu'à 2500W sur charge résistive, avec une période d'envoi paramétrable selon une durée ou une variation de puissance. Nous l'avons configuré pour émettre si la puissance varie de 0.1 W. Il transmet également le comptage de l'énergie consommée. La transmission est réalisée par radio fréquence en Z-Wave™ (868MHz). La portée de ce protocole est limitée à quelque dizaines de mètres, il a donc été nécessaire de répéter le signal jusqu'à une passerelle connectée au réseau Ethernet du bâtiment. Le Fibaro Wallplug™ offre cette fonction de répéteur et permet donc d'avoir une bonne couverture dans le bâtiment. Il se branche entre l'équipement à mesurer et une prise 230V.

3.2. INFRASTRUCTURE DE COLLECTE DES DONNEES PERSONNELLES

Une infrastructure maillée a été mise en place, tant pour le transfert que pour la sauvegarde des données. Afin de couvrir tout le bâtiment, une passerelle Z-Wave/Ethernet a été placée à chaque étage sous la forme d'un nano-ordinateur *Raspberry Pi*. Le système de sauvegarde s'appuie sur une couche logicielle open source *Jeedom* installée sur chaque *Raspberry Pi*. Un plugin *Jeelink* permet de mailler les *Raspberry Pi* entre eux, nous permettant ainsi de mettre en place une redondance de la sauvegarde des données de chaque étage sur l'ensemble des nano-ordinateurs.

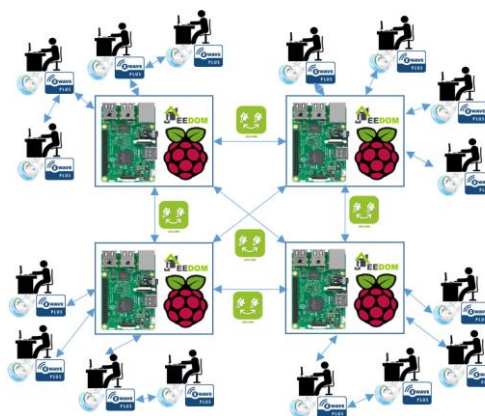


Figure 1 : Infrastructure de collecte et sauvegarde des données de consommation

3.3. DEPLOIEMENT DU SYSTEME

Le déploiement du système s'est déroulé en 2 temps. La première phase où les employés devaient prendre rendez-vous afin d'installer les capteurs et signer les documents de consentement de participation à l'expérience. La deuxième phase fut un test de chaque équipement afin d'être sûr de la calibration et de la bonne communication des capteurs.

Afin d'assurer l'anonymisation des données, chaque capteur avait un identifiant généré aléatoirement dont l'association avec l'identification du personnel a été encryptée dans un unique fichier dont une personne était garante.

4. TRAITEMENT DES DONNEES ET CALCULS DES INDICATEURS

L'infrastructure de collecte des données ayant été mise en place, leur traitement automatisé a été programmé. Une première phase a été de traiter les données brutes afin d'en disposer dans un format plus adapté au calcul des indicateurs.

4.1. DESCRIPTION ET TRAITEMENT DES DONNEES

Les données ont été archivées dans des fichiers CSV, contenant une colonne d'index temporels et des colonnes des données de mesure. Deux types de mesures étaient disponibles pour chaque prise : la puissance électrique (W) et l'énergie électrique (kWh). Chaque ligne contenait une ou plusieurs mesures à un instant précis. L'objectif initial était d'exploiter les données d'énergie, mais l'émission d'une valeur par incrément de 1kWh n'était pas assez fréquente, les traitements ont alors été réalisés sur les mesures de puissance. Les données reçues étaient événementielles, donc avec un pas de temps variable.

L'exemple dans la Figure 2 montre la courbe de charge d'un sujet, avec les données mesurées et les données interpolées par recopie de la dernière valeur. La donnée d'énergie a été intégrée à partir de ces données de puissance toutes les 15 minutes ou 45 minutes selon les plages.

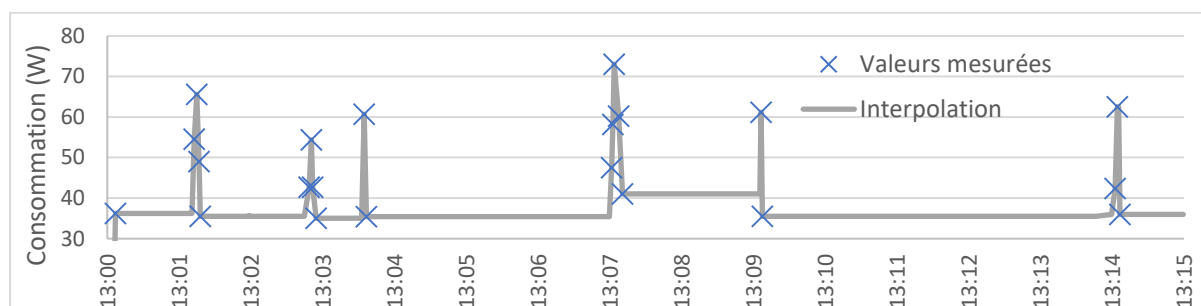


Figure 2 : interpolation des données mesurées



Figure 3 : Etapes de traitements des données

4.2. EVALUATION DE L'EFFACEMENT ET CALCUL DE LA CAGNOTTE

La question de la mesure de la consommation effacée et/ou reportée a connu une attention croissante depuis les premières expérimentations des années 1970 (GAEL, 2012). Evaluer une courbe de référence sur un ensemble de consommateurs et plus simple que pour des individus. La méthode classique s'appuie sur la constitution d'un groupe de contrôle similaire au groupe-cible. Dans notre expérimentation, le groupe de contrôle n'a pas pu être constitué en raison du nombre faible de sujets inscrits.

Selon la CRE³, la courbe de référence peut, par exemple, être construite à partir de la consommation une demi-heure avant et après l'effacement déclaré, ou de la courbe de charge prévue plusieurs jours avant l'effacement, ou encore d'une moyenne ou d'une médiane des courbes de charge constatées dans les semaines précédant l'effacement.

La consommation de référence a servi à calculer la cagnotte. La cagnotte maximum correspond à 0 consommation pendant les plages signalées, alors que la cagnotte est égale à 0 si la consommation observée est égale ou supérieure à la consommation de référence. Enfin, si la consommation est entre ces deux valeurs, un rapport proportionnel est appliqué pour la cagnotte.

³ <https://www.cre.fr/Electricite/Reseaux-d-electricite/Effacements>

5. RESULTATS DE L'ETUDE

5.1. ANALYSE DE COURBES DE CHARGE

Dans l'extraction de courbe de charge ci-dessous (*Figure 4*), nous pouvons constater différents comportements. « bureau 1 » conserve une consommation relativement forte et constante sur les 3 plages (avant, pendant, et après le signal d'effacement). « bureau 2 » opère une baisse complète de sa consommation au moment de l'effacement et consomme de nouveau quelques minutes après la fin de la période. « bureau 3 » opère une baisse de consommation 15 minutes avant la période et consomme de nouveau 30 minutes après la période, cherchant peut être à garantir la baisse de consommation. Enfin « bureau 4 » opère une faible baisse durant la pause méridienne mais sans lien évident avec l'expérimentation.

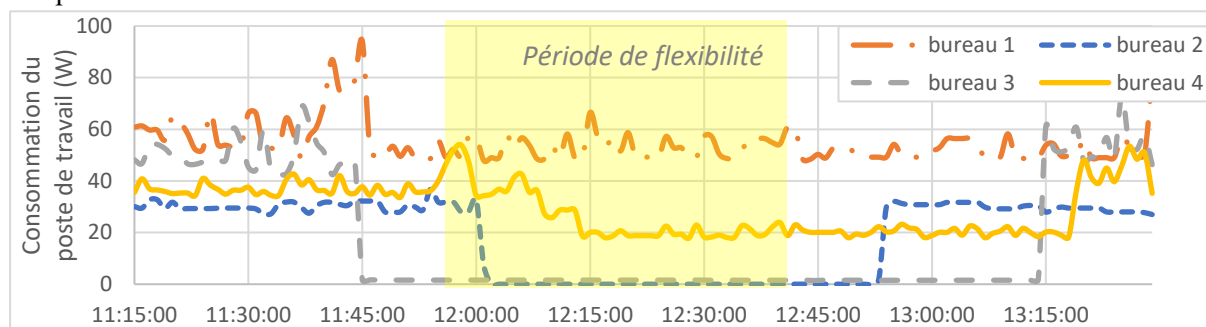


Figure 4 : Exemples de courbes de charge

5.2. EFFICACITE DU SIGNAL SUR L'EFFACEMENT

La consommation moyenne par individus pour tous les jours ouvrés qui n'ont pas reçus d'intervention correspond à la courbe de référence. Ces consommations sont ensuite présentées pour les jours d'effacement avec deux catégories, les plages de 15 minutes et celle de 45 minutes.

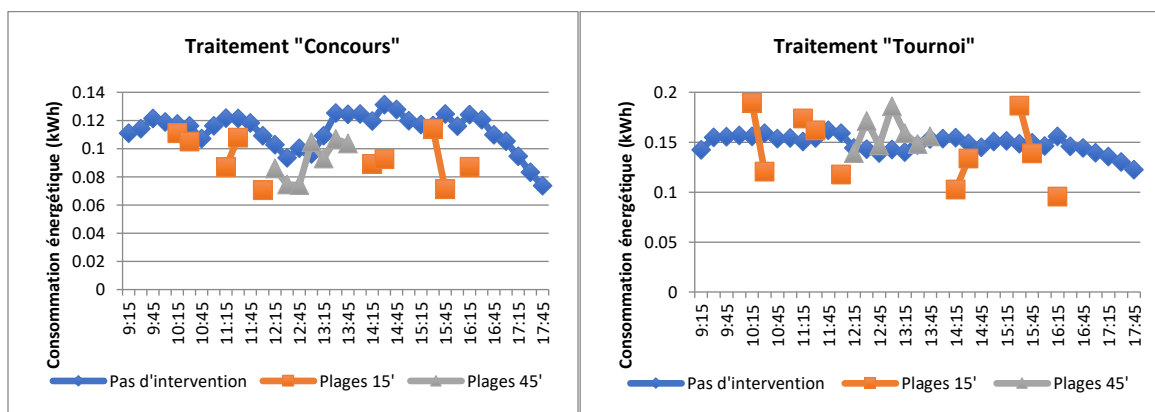


Figure 6 : Moyenne de consommation énergétique par heure dans le concours et le tournoi

Une analyse détaillée ne sera pas rendue publique dans cet article. Nous pouvons toutefois conclure sur quelques résultats génériques. Tout d'abord, les résultats moyens modestes en terme de changement de comportement cachent des résultats individuels très différents. Nous constatons que le concours honorifique permet une réduction des consommations dans les plages de flexibilité. Par contre, le tournoi ne permet pas particulièrement d'inciter à la flexibilité. Nous pouvons aussi supposer que le fait d'avoir réalisé ces deux traitements sur le même groupe de manière successive, avec le « tournoi » en second, est un biais important qui peut remettre en cause ce dernier résultat. Par ailleurs, nous constatons que la durée et le moment de la flexibilité, 45 minutes à la pause méridienne ou 3 fois 15min durant la journée, n'a pas d'influence sur les résultats.

6. CONCLUSIONS

Dans cet article nous montrons l'intérêt scientifique d'étudier la flexibilité par l'intégration des usagers dans la boucle de pilotage. Le pilotage indirect par les occupants constitue un enjeu important dans la flexibilité diffuse, déployée à grande échelle. Les coûts en équipement, installation et maintenance, sont considérablement réduits par rapport à un pilotage automatique, et le potentiel de flexibilité est élargie aux équipements non pilotables. Par contre, il est important de bien comprendre les mécanismes d'incitation qui permettent de maximiser l'efficacité de la flexibilité. Nous avons étudié l'efficacité de 2 types d'incitations, concours honorifique et tournoi monétaire, auprès d'une population d'employés dans le bâtiment tertiaire GreEn-ER. Un monitoring en temps réel a été mis en œuvre avec une remontée centralisée et redondante des données anonymées. Ces données ont été traitées puis analysées de manière automatique afin de produire des indicateurs définissant les gagnants des 2 traitements et des indicateurs nous permettant d'analyser l'efficacité des mécanismes proposés. Les résultats peu généralisables étant donné le nombre faible de sujet nous permettent malgré tout de monter en compétence et préparer des expérimentations à plus grande échelle.

Ce travail a bénéficié du soutien de la Région Auvergne Rhône-Alpes au titre du programme "Pack Ambition Recherche 2017 - Projet Expesigno" (17 01110301). Il a également bénéficié du soutien du CDP Eco-SESA recevant des financements de l'Agence Nationale de la Recherche, au titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-15-IDEX-02. Ainsi que du Programme d'investissements d'Avenir, IRT Nanoelec ANR-10-AIRT-05.

7. BIBLIOGRAPHIE

- (Buckley et al. 2017) P. Buckley, D. Llerena. Demand response as a common pool resource game: Nudges versus prices. Conférence annuelle de l'Association des Economistes de l'Energie, Association des Economistes de l'Energie - AEE, Nov 2017, Paris, France
- (Daniel et al. 2016) Daniel, M., Rivière, G., Couture, N., Kreckelbergh, S., "An analysis of Persuasive Technologies for Energy Demand Side Management", In Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Fribourg, Switzerland, pp. 197-210, 2016.
- (Delinchant et al, 2016) Delinchant B., Wurtz F., Ploix S., Schanen J.-L. and Marechal Y. (2016). "GreEn-ER Living Lab - A Green Building with Energy Aware Occupants". SmartGreen'16, In Proceedings of the 5th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems. ISBN 978-989-758-184-7, pages 316-323. DOI: 10.5220/0005795303160323
- (Giulietti et al., 2019) Monica Giulietti, Chloé Le Coq, Bert Willems, Karim Anaya, « Smart Consumers in the Internet of Energy - Flexibility Markets and Services from Distributed Energy Resources », CERRE 2019, Report of Centre on Regulation in Europe. <https://www.cerre.eu/publications/smart-consumers-internet-energy>
- (Artelys et al., 2016) Artelys, Armines, Energies Demain, "A 100% renewable electricity mix? Analysis and optimisation exploring the boundaries of renewable power generation in France by 2050", ADEME (French Environment and Energy Management Agency) report, January 2016. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/renewable-electricity-mix-executive-summary-ademe-201601.pdf>
- (PPE, 2019) <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>
- (GAEL, 2012) Valérie Lesgards, Laure Frachet, La gestion de la demande résidentielle d'électricité : retour sur 30 ans d'expérimentations mondiales, La Revue de l'Énergie n° 607 – mai-juin 2012