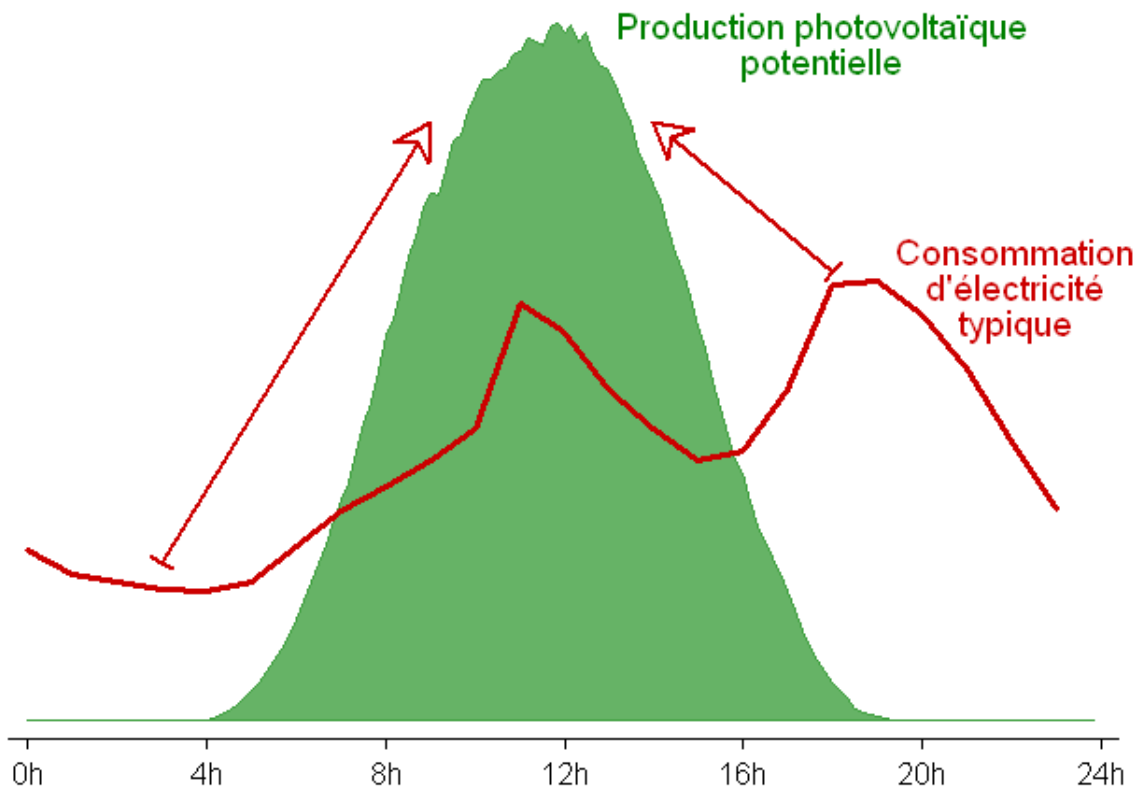




Rapport annuel du 31.01.2018

Rapport Annuel 2017 Flexi 2





Date : 31.01.2018

Lieu : Neuchâtel

Prestataire de subventions :

Confédération suisse, représentée par

L'Office fédéral de l'énergie OFEN

Programme de recherche Énergie - économie - société (EES)

CH-3003 Bern

www.ofen.admin.ch

Bénéficiaires de la subvention :

Planair SA

Rue du Crêt 108A

CH-2314 La Sagne

www.planair.ch

Université de Neuchâtel, Institut de recherches économiques (UniNE, IRENE)

Rue de la Pierre-à-Mazel

CH-2000 Neuchâtel

www2.unine.ch/irene

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, PV-LAB (EPFL, STI IMT-NE PV-LAB)

Rue Breguet 2

CH-1015 Lausanne

pvlab.epfl.ch

Auteurs :

Lionel Perret, Planair SA, lionel.perret@planair.ch

Yves Chevillat, Planair SA, yves.chevillat@planair.ch

Nicolas Wyrsh, EPFL, nicolas.wyrsh@epfl.ch

Lionel Bloch, EPFL, lionel.bloch@epfl.ch

Jordan Holweger, EPFL, jordan.holweger@epfl.ch

Sylvain Weber, UniNE, sylvain.weber@unine.ch

Martin Péclat, UniNE, martin.peclat@unine.ch

Direction du programme de l'OFEN : Anne Kathrin Faust, Anne-Kathrin.Faust@bfe.admin.ch

Suivi du projet pour l'OFEN : Anne Kathrin Faust, Anne-Kathrin.Faust@bfe.admin.ch

Numéro du contrat de l'OFEN : SI/501332-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement,
des transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN
Section Régulation du marché

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen, Adresse postale : 3003 Berne

Tél. +41 58 462 56 11 · fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.ofen.admin.ch



Sommaire

Objectifs du projet	5
Travaux réalisés et résultats obtenus	6
1.1. Interventions.....	6
1.2. Analyse descriptive des factures mensuelles	7
1.3. Pré-traitement des courbes de charge.....	12
1.4. Résultats préliminaires.....	14
Collaboration au niveau international	14
Evaluation 2017 et perspectives 2018	15
Références	15



Objectifs du projet

L'objectif principal du projet Flexi est de déterminer la flexibilité de la consommation d'électricité des ménages, afin de favoriser la consommation d'énergie d'origine photovoltaïque. La première phase du projet s'est déroulée entre 2013 et 2015 et est décrite dans Perret et al. (2015). Le projet est actuellement dans sa deuxième phase, qui a débuté en novembre 2015. Une expérience pratique est ainsi menée, en partenariat avec le gestionnaire de réseau de distribution « *La Société des Forces Electriques de la Goule* », désigné ci-après comme « *La Goule* », dans laquelle est mise en place une tarification dynamique basée sur la production potentielle d'énergie solaire. Des périodes de haut (HT) et bas tarif (BT) servent d'incitations pour influencer la consommation d'électricité par les ménages.

Ce projet comporte une partie technique et une partie économique. La première comporte les objectifs suivants :

- Mise en place d'un moyen de communication direct avec les participants soumis à la tarification dynamique. Le système définit les périodes de haut et bas tarif pour le lendemain sur la base des prévisions météorologiques et informe les participants un jour à l'avance.
- Analyse des courbes de charge des ménages, relevées au quart d'heure ou à l'heure par des compteurs intelligents (*smart meters*), de sorte à évaluer le potentiel théorique de flexibilisation de la consommation d'électricité à partir d'un modèle basé sur la littérature.
- Évaluation des changements de comportement des clients équipés d'installation photovoltaïque depuis la mise en service de leur installation, en s'appuyant sur les données de consommation historiques.
- Calcul du potentiel d'autoconsommation induit par la flexibilisation.

La partie économique comporte les objectifs suivants :

- Préparation de lettres d'information à l'intention des ménages et d'un questionnaire en ligne permettant de collecter des informations essentielles sur les ménages.
- Sur la base des informations collectées au travers du questionnaire, répartition en plusieurs groupes des ménages disposés à participer aux expériences (contrôle et traitements), les groupes étant aussi homogènes que possible entre eux.
- Conception d'une tarification alternative visant à inciter les ménages à déplacer leur consommation d'électricité vers les périodes d'ensoleillement tout en empêchant/limitant les gains des ménages qui ne modifieraient pas leur façon de consommer.
- Évaluation, par des méthodes économétriques (*diff-in-diff*), des effets engendrés par les traitements mis en place (c'est-à-dire les tarifications alternatives).



Travaux réalisés et résultats obtenus

1.1. Interventions

La préparation des interventions a été effectuée principalement en 2016, de sorte que les détails relatifs se trouvent dans le rapport annuel précédent. Pour rappel, nous exposons ici uniquement les éléments principaux.

Les ménages ont été approchés au travers d'une lettre d'information indiquant les avantages à participer à l'expérience et contenant un lien vers le site web dédié au projet, où se trouve notamment un questionnaire permettant de relever leurs caractéristiques. Après une première vague d'envoi, le nombre de réponses ne s'étant pas montré suffisant, un rappel a été envoyé aux clients de *La Goule*. Cette seconde vague a permis de recruter quelques ménages supplémentaires. Le nombre total de ménages n'étant toujours pas suffisant, il a été décidé de sélectionner aléatoirement 500 ménages parmi les clients de La Goule et de les intégrer aux expériences de façon autoritaire (à noter que leur participation ne présente aucun risque financier pour eux-mêmes). Trois vagues de ménages ont ainsi débuté les expériences à des périodes différentes (juillet 2016, octobre 2016, et janvier 2017).

Dans chacune des vagues, les ménages ont été répartis en trois groupes : un groupe de contrôle C et deux groupes de traitement T1/T2 (sauf dans la troisième vague où un seul groupe de traitement a pu être créé). Le but du groupe de contrôle est de mesurer la façon habituelle dont les ménages consomment l'électricité. Ces ménages ont été informés le moins possible quant aux objectifs du projet, de sorte à ne pas influencer leur comportement. C'est ainsi grâce à eux que l'on pourra déterminer précisément l'effet des interventions, à l'aide de méthodes de différences-en-différence dans lesquelles on compare les groupes traités et de contrôle, avant et après le début des interventions.

Durant les interventions, le groupe T1 fait face à des périodes de haut et de bas tarif identiques tous les jours : le tarif est bas de 11h à 15h et haut le reste de la journée. Le haut tarif correspond au tarif habituel majoré de 4 centimes/kWh, alors que le bas tarif correspond au tarif habituel réduit de 15 centimes/kWh. Il est important de préciser que les ménages paient chaque mois la facture la moins élevée entre celle calculée sur la base des tarifs officiels de La Goule (2017) et celle obtenue selon la tarification alternative mise en place dans le cadre de l'intervention. Pour les ménages, la participation à l'expérience ne comporte ainsi aucun risque financier, au contraire ceux-ci peuvent uniquement économiser de l'argent.

Le groupe T2 reçoit quant à lui chaque soir par SMS les heures des périodes de haut et bas tarif pour le lendemain. Ces plages horaires sont variables de jour en jour et basées sur les prévisions météorologiques d'ensoleillement. Les heures d'activation des périodes de haut et bas tarif sont ainsi indexées sur la production potentielle d'énergie solaire. Étant donné que les ménages de la troisième vague n'ont pas répondu au questionnaire et donc n'ont pas fourni de numéro de téléphone, il n'existe pas de groupe T2 dans cette vague.



Le Tableau 1 indique le nombre de ménages dans chaque groupe et pour chacune des vagues.

Vague	Date de lancement	Contrôle	Traitement 1	Traitement 2	Total
1	01.07.2016	14	15	15	44
2	01.10.2016	16	16	16	48
3	01.01.2017	253	252	-	505
Total		283	283	31	597

Tableau 1 Répartition des groupes

1.2. Analyse descriptive des factures mensuelles

Un élément important à signaler en préambule à notre analyse est que les données transmises ne concernent pour l'instant que la période allant jusqu'à mars 2017. Or, les interventions se sont déroulées jusqu'à décembre 2017. La majeure partie des interventions (en particulier pour les deuxième et troisième vagues) ne sont pas encore observable dans les données. Les courbes de charge complètes ne seront transmises aux chercheurs qu'en mars 2018, ce qui permettra de disposer d'une période d'observation post-intervention (janvier et février 2018) qui sera intéressante et analysable en tant que telle. Cela implique cependant que les résultats présentés dans ce rapport sont très préliminaires, puisque basés sur un nombre de ménages restreint et une période de traitement tronquée. Pour l'analyse des factures mensuelles, seules les deux premières vagues sont prises en compte. Il est en effet inutile de chercher à analyser la troisième vague pour l'instant, les ménages concernés n'ayant été avertis que peu avant (voire même après) la fin de notre période d'observation.

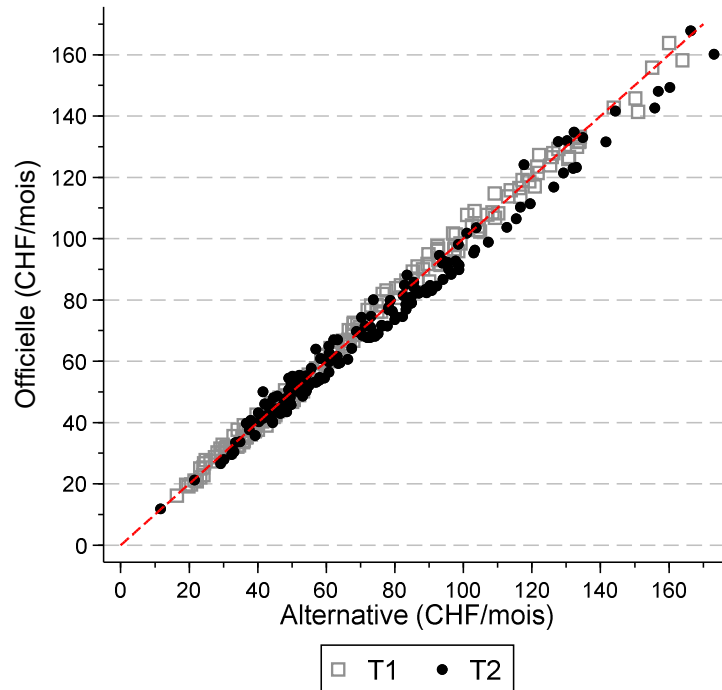
Notre analyse débute par l'examen des factures mensuelles. Plus précisément, nous nous intéressons aux écarts observés entre les factures officielles, établies par La Goule avec un prix de l'électricité constant pour chaque heure de la journée, et les factures alternatives, obtenues avec les tarifs T1 et T2.

La Figure 1 montre les montants des factures officielles (verticalement) et alternatives (horizontalement) reçues mensuellement par les ménages des groupes T1 et T2. En mettant en relation les deux types de factures, cette Figure permet de remarquer d'emblée que les différences sont minimes, la majorité des points étant localisés proches de la droite à 45°. Cela n'est pas totalement inattendu en soi, puisque les tarifications alternatives avaient été calibrées de façon à ce qu'en moyenne, un ménage ne changeant rien à sa consommation d'électricité se retrouve effectivement avec la même facture dans les deux cas.

D'autre part, on remarque que les ménages du groupe T2 sont nettement plus souvent perdants avec la facturation alternative que les ménages du groupe T1. Au premier abord, il semble donc plus compliqué pour les ménages de s'adapter à une tarification variable jour après jour plutôt qu'à une tarification fixe. Il faut cependant rappeler que la période d'observation s'étend (pour l'instant) du 1^{er} juillet 2016 (vague 1) ou 1^{er} octobre 2016 (vague 2) au 31 mars 2017, soit une période globalement défavorable du point de vue météorologique. Le nombre de jours sans aucune période de bas tarif est donc relativement élevé sur cette période et il est probable que la situation s'améliore pendant le printemps et l'été pour le groupe T2.



Finalement, on remarque également que les gros consommateurs semblent avoir plus de difficulté à bénéficier des tarifications alternatives. Au-dessus de 100 CHF par mois, très rares sont les ménages ayant bénéficié d'un rabais grâce à la tarification alternative.



Interprétation: Au-dessus de la ligne à 45°, le ménage économise grâce à la facturation alternative.

Figure 1 Factures officielles et alternatives

La Figure 2 montre la répartition des écarts entre les deux types de factures, toujours en termes mensuels. Les montants négatifs indiquent que la facturation alternative est à l'avantage des ménages alors que les montants positifs constitueraient des surplus à payer pour les ménages (si la facturation alternative était appliquée de façon contraignante).

On constate à nouveau très clairement que les deux façons d'établir les factures conduisent à des différences minimales. En moyenne (groupes T1 et T2 confondus), les ménages ont vu leur facture augmenter de 83 centimes par mois avec les tarifications alternatives. Plus de 70% des factures mensuelles comportent un écart (positif ou négatif) inférieur à 4 CHF. Près de deux tiers des factures alternatives sont supérieures aux factures officielles.

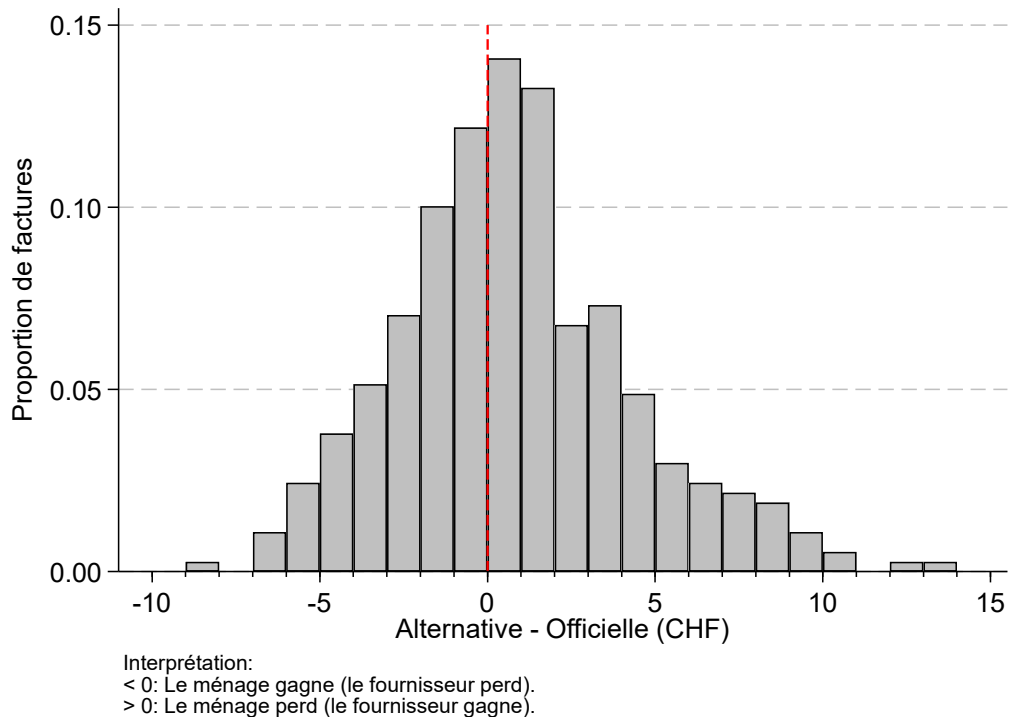


Figure 2 Écarts entre factures officielles et alternatives

La Figure 3 est similaire à la précédente, mais présente les écarts de manière séparée (et verticalement) pour les groupes T1 et T2. On se rend ainsi clairement compte que les écarts sont moindres pour le groupe T1, alors qu'il y a nettement plus de variation dans le groupe T2. Le fait que les périodes de haut/bas tarifs soient variables pour ce dernier rend possible pour certains ménages de faire des gains plus conséquents pendant certains mois, mais provoque également parfois des pertes plus importantes. Logiquement, on observe ainsi que le risque est plus élevé avec une période de tarification variable plutôt que fixe.

Pour le groupe T1, les écarts n'ont que très rarement dépassé 5 CHF par mois. On pouvait également anticiper ces résultats puisque les calibrations des bonus (15 cts/kWh) et malus (4 cts/kWh) ont précisément été effectuées à partir de résultats d'une expérience dans laquelle les plages horaires étaient identiques à celles proposées au groupe T1 (bas tarif de 11 à 15h tous les jours). De ce point de vue, on peut considérer que le faible écart entre les deux types de factures constitue une preuve du succès de la calibration. Cependant, on pouvait espérer voir un plus fort regroupement de factures en-dessous de 0, qui aurait été un signe que les ménages font des efforts pour déplacer leur consommation vers les heures de bas tarif. Telle qu'on l'observe, la répartition des écarts laisse plutôt penser que les ménages ont consommé comme d'habitude et ont enregistré des gains (ou des pertes) uniquement grâce à (ou à cause de) leur profil de consommation habituel.

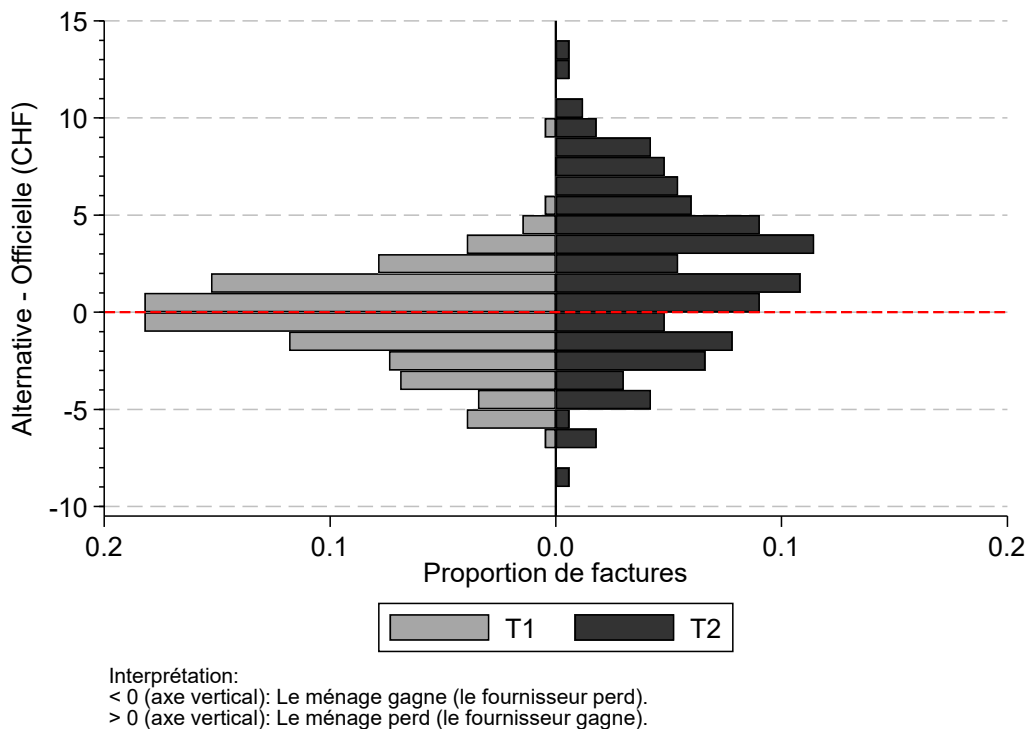
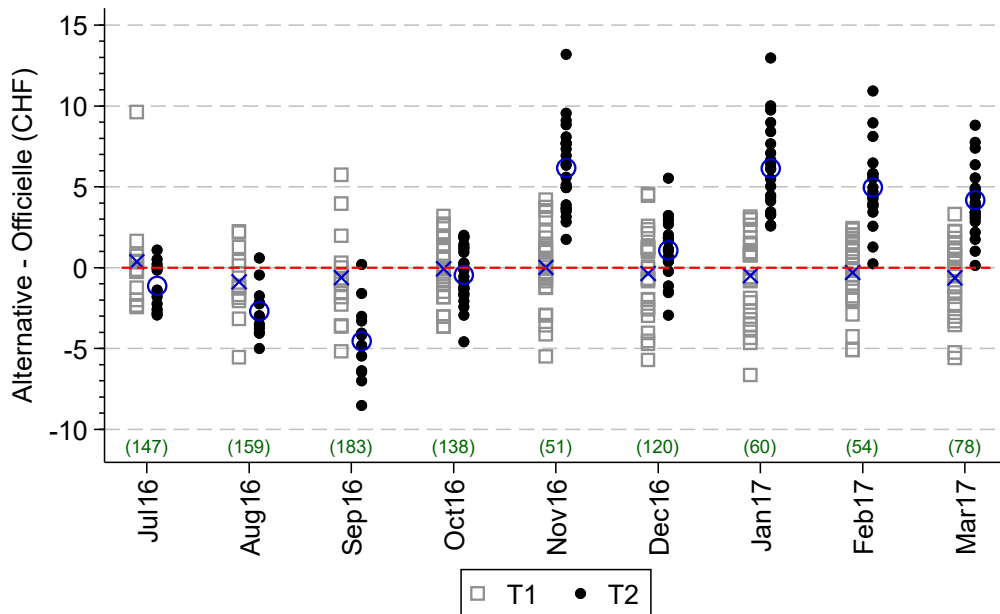


Figure 3 Écarts entre factures officielles et alternatives, par groupe

La Figure 4 montre les écarts de factures pour chaque mois pendant la période d'intervention. On observe que pour le groupe T1, les résultats sont relativement similaires mois après mois, avec une partie des ménages voyant sa facture réduite et l'autre partie la voyant augmenter. L'écart mensuel moyen pour l'ensemble des ménages du groupe T1 n'a ainsi jamais dépassé 1 CHF.

Pour les ménages du groupe T2 en revanche, on observe de grosses variations mensuelles. Certains mois (août-septembre 2016), les ménages de ce groupe ont tous gagné (ou presque) alors que d'autres mois, ils ont tous perdu (novembre 2016, janvier-mars 2017). Le fait que les périodes de haut/bas tarifs soient basées sur la météo explique évidemment ces variations mensuelles. On remarque en effet une corrélation très forte entre le nombre d'heures de bas tarif pendant un mois et les économies réalisées par les ménages.



Notes:
Les groupes T1 et T2 sont décalés pour rendre le graphique plus lisible.
Les croix et ronds bleus indiquent les valeurs moyennes des groupes T1 et T2.
Les nombres d'heures de bas tarif sont indiqués entre parenthèses pour chaque mois.

Figure 4 Écarts entre factures officielles et alternatives, mois après mois

La Figure 5 présente une information similaire à la Figure 4, la seule différence étant que les points sont reliés dans le temps pour chaque ménage, ce qui permet d'avoir un aperçu de l'évolution des écarts à un niveau désagrégé. Pour le groupe T1, on semble discerner une légère inclinaison des trajectoires vers le bas. Ceci pourrait indiquer une phase « d'apprentissage »: Mois après mois, les ménages accumulent de l'information et sont capables de réduire leurs factures de manière progressive. À quelques exceptions près, on remarque également que les ménages de la première vague réalisent des économies plus importantes que ceux de la deuxième vague, ce qui renforce cette interprétation. D'autre part, on note qu'il existe des différences structurelles entre les ménages. Les mouvements vers le haut ou le bas sont en effet minimes. Ainsi, certains ménages ont économisé chaque mois alors que d'autres ont perdu chaque mois durant toute la période d'intervention.

Ce qui ressort de la Figure 5 pour le groupe T2 n'est pas différent de ce qui a déjà été constaté précédemment. On retrouve les effets mensuels, qui constituent la principale explication des variations pour ce groupe. Étant données ces variations mensuelles, il est difficile à ce stade de déceler un quelconque effet d'apprentissage, qui devra être identifié (s'il existe) avec des techniques économétriques plus sophistiquées. Dans ce groupe, on note également des différences structurelles entre ménages, le classement étant relativement stable mois après mois.

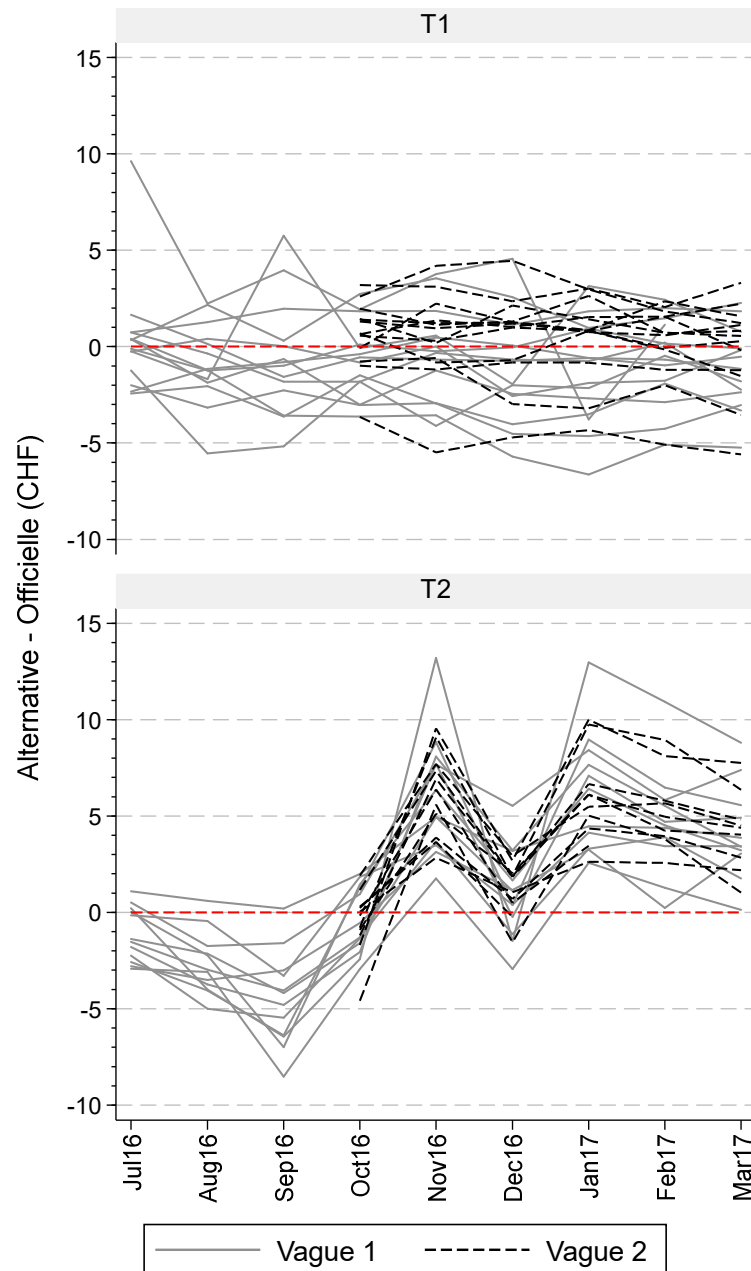


Figure 5 Écarts entre factures officielles et alternatives, mois après mois et pour chaque ménage

1.3. Prétraitement des courbes de charge

Bien que les données de consommation proviennent de compteurs intelligents (*smart meters*), de nombreuses invraisemblances ont été observées dans les courbes de charge livrées aux chercheurs. La première phase d'analyse des courbes de charge consiste dès lors à traiter les données reçues de sorte à les rendre exploitables pour l'analyse. Un pré-traitement a ainsi été appliqué afin de



plausibiliser autant que possible les courbes de charge. Pour ce faire, une méthodologie visant à imputer les données manquantes et à corriger les valeurs de consommations excessives a été mise en place et a permis de réduire fortement les plages sans données.

La Figure 6 compare les données originales avec les données après reconstruction. S'il subsiste des zones sans données, c'est parce que les mesures de certains ménages commencent après novembre 2012 et/ou se terminent avant mars 2017. Un autre facteur est que pour récupérer d'avantages de courbes de charge tout en limitant les efforts de calculs, certaines courbes de charge n'ont été traitées qu'à partir de juillet 2015.

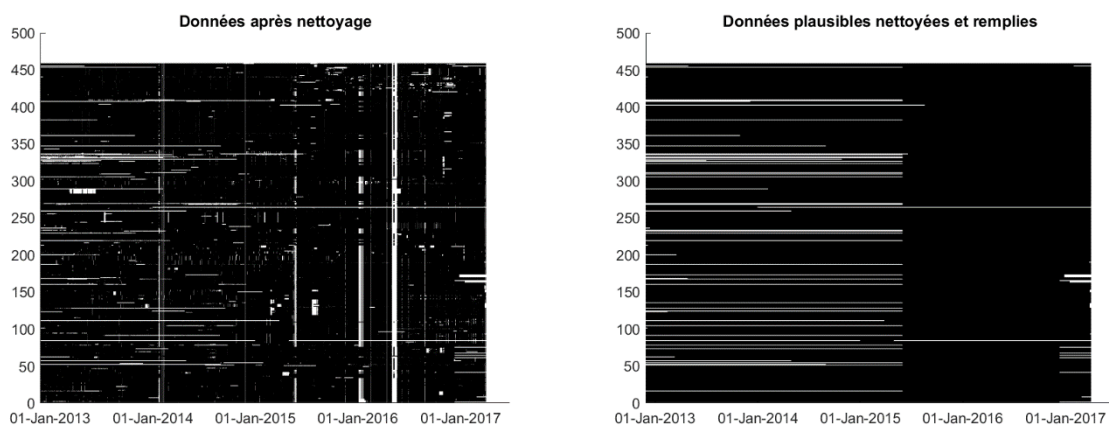


Figure 6 Comparaison des données originales (en enlevant les données non-plausibles) (gauche) et après reconstruction (droite), les données manquantes sont colorées en blanc.



1.4. Résultats préliminaires

Les données obtenues et traitées couvrent une période de 6 mois pendant l'intervention, entre octobre 2016 et mars 2017, qui permettent d'avoir un aperçu de la réaction des ménages aux incitations financières. A ce stade de l'analyse, il a été mesuré une flexibilisation de la consommation de l'ordre de 1% de l'énergie totale consommée. Plus précisément, on peut quantifier la flexibilisation de la consommation des ménages comme la variation de la puissance moyenne durant les heures de tarification réduite par rapport à leur consommation journalière. On mesure ainsi une flexibilisation de l'ordre de 2 W/kWh pour le groupe T1 et près du double pour le groupe T2. Ces estimations ne couvrent que les 6 premiers mois de l'expérience et seront à ré-évaluer à la fin de celle-ci.

Sur la base des résultats préliminaire, trois constats semblent se dessiner :

1. Les incitations financières impactent les habitudes de consommation d'électricité. Les ménages semblent déplacer une petite partie de leur consommation aux heures de tarification réduite et réduire globalement leur consommation. Cela se traduit par une augmentation relative de la puissance durant les périodes de tarification réduite et une diminution de la consommation journalière moyenne.
2. La réponse des ménages est relativement faible en valeur absolue, s'élevant à quelques Watts par kWh consommé. Cela pourrait être dû à la nature non-contraignante de la tarification alternative : dans le cadre de l'expérience, si la facture du ménage augmente par rapport à la tarification alternative, il ne paiera finalement que le montant de sa facture officielle. De plus, les données analysées jusqu'à présent se trouvent en début d'expérience. Une augmentation de la réaction des ménages pourrait encore s'observer plus tard dans l'expérience.
3. Une incitation fixe et régulière semble avoir moins d'effet qu'une incitation dynamique. Le groupe T1 semble avoir globalement moins réagit que le groupe T2.

Collaboration au niveau international

Collaboration au niveau international

Présentation de Sylvain Weber à la 12^{ème} conférence de la *European Society for Ecological Economics* (Budapest, 20-23.06.2017) : « Shifting intraday electricity usage through time-of-use tariffs »

Publication de Sylvain Weber, Stefano Puddu et Diana Pacheco (2017): "Move it! How an electric contest motivates households to shift their load profile", *Energy Economics*, **68**: 255-270.



Evaluation 2017 et perspectives 2018

L'année 2017 a permis de finaliser les interventions et d'exploiter la première partie des données collectées. Une première analyse permet de constater les effets des incitations financières, bien que la réponse des ménages soit relativement modérée. Le travail mené au cours de l'année a aussi mis en lumière les difficultés inhérentes à l'utilisation de données provenant de smart-meters. En effet, la fiabilité des données à haute fréquence et la difficulté technique liée à l'acheminement constituent malgré tout un obstacle à l'utilisation de ces informations. Afin de limiter les coûts d'extraction des données, il a été décidé de ne demander plus qu'une seule extraction au cours du premier trimestre 2018. Par rapport aux résultats provisoires présentés dans ce document, des résultats plus significatifs sont attendus sur la fin de la période d'intervention.

Quels que soient les résultats, ce projet aura permis de mettre sur pied une tarification dynamique, basée sur les périodes d'ensoleillement, sur une catégorie réduite de ménages (qui disposent jusqu'alors d'un tarif uniforme et n'ont typiquement pas un chauffage d'origine électrique). Cette catégorie présente sans doute le potentiel de flexibilisation le plus faible. Une suite logique serait dès lors de proposer un essai en généralisant à un ensemble plus grand de ménages et en proposant cette fois une incitation contraignante.

Références

- [1] L. Perret *et al.*, "FLEXI Determining the flexibilization potential of the electricity demand," 2015.
- [2] La Goule, "Energy Blue Energy Green Energy Grey Prix de base," 2017. [Online]. Available: http://www.lagoule.ch/tl_files/content/FICHIERS/Produits/2017/Energie/E1_Tarif_unique.pdf. [Accessed: 18-Dec-2017].