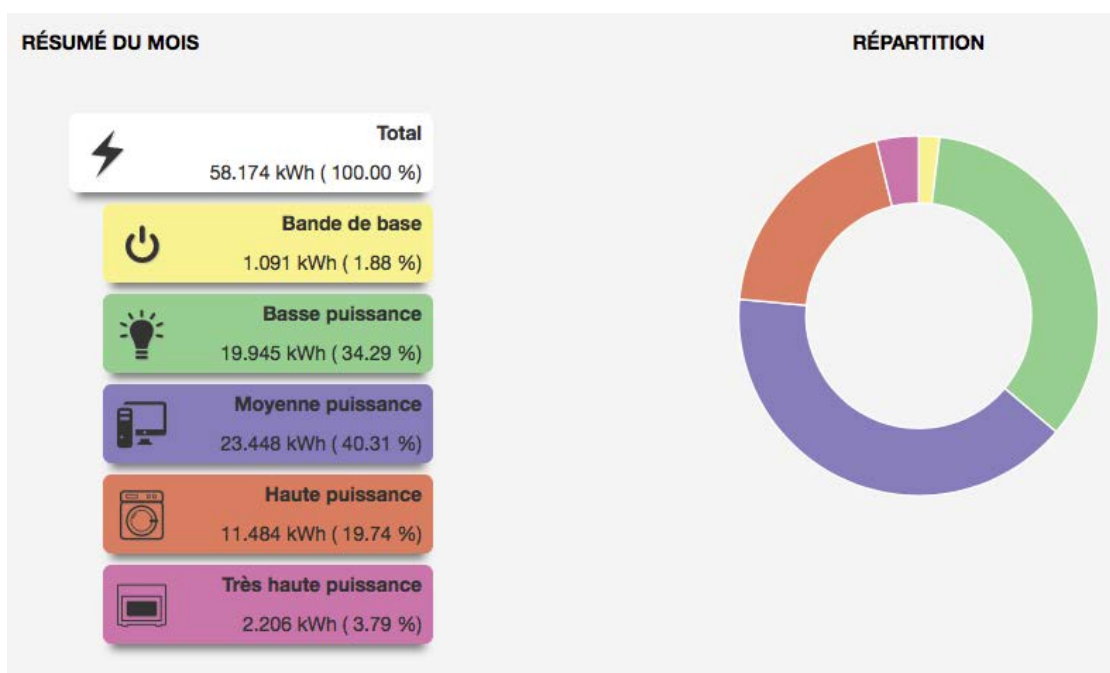




Rapport final du 10.5.2016

Projet APEAS

Démonstration grandeur nature de la solution « APEAS » :
Automatic Personal Energy Advicing System





Date : 10.5.2016

Lieu : Martigny

Prestataire de subventions :

Confédération suisse, représentée par
L'Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme pilote, de démonstration et Programme-phare
CH-3003 Berne
www.ofen.admin.ch

Cofinancement

The Ark Energy, CH-1950 Sion

Bénéficiaires de la subvention :

GEROCO SA
Rue Marconi 19
CH-1920 Martigny

GROUPELEC par SEIC SA
Grand Rue 2
CH-1904 Vernayaz

Romande Energie Commerce SA
Rue de Lausanne 53
CH-1110 Morges

HES-SO Valais
Route du Rawyl 47
CH-1950 Sion

Auteurs :

Eric Nussbaum, Geroco SA, eric.nussbaum@geroco.ch

Direction du programme de l'OFEN : Yasmine Calisesi, yasmine.calisesi@bfe.admin.ch

Suivi du projet pour l'OFEN : Roland Brüniger, roland.brueeniger@R-BRUENIGER-AG.CH

Numéro du contrat de l'OFEN : SI/501074-01

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

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

Zusammenfassung

Mit dem Ziel, automatisch eine Bilanz des Stromverbrauchs zu erzeugen sowie individualisierte Empfehlungen zur Reduzierung ihres Verbrauchs zu erhalten, haben mehr als 120 Pilothaushalte ein Gerät installiert, das die Stromverbrauchsdaten ihres Stromzählers aufzeichnet.

Aufgrund technischer Schwierigkeiten war die automatische Erkennung der Geräte nicht möglich. Deshalb wurde beschlossen, den Kunden eine Aufteilung (Verteilung des Gesamtstromverbrauchs auf die verschiedenen Nutzungen von Strom) Ihres Stromverbrauchs nach Leistungsbereichen (0 – 250 W, 250 – 750 W, etc...) anzubieten.

Parallel dazu hat die Geroco SA eine Informatikinfrastruktur für die Erfassung und Speicherung der Daten aufgebaut und die entsprechenden Anzeigeoberflächen entwickelt, mit deren Hilfe die Benutzer ihren Stromverbrauch und die Verteilung des Verbrauchs nachverfolgen und automatisch Empfehlungen erhalten können, die auf den Ergebnissen dieser Aufteilung beruhen.

Résumé

Dans le but de générer automatiquement un bilan des consommations électriques ainsi que des conseils personnalisés afin de réduire leur consommation, près de 120 ménages pilotes ont installé un appareil récoltant l'historique de leur consommation sur leur compteur d'énergie électrique.

Suite à des difficultés techniques, la réalisation d'une détection automatique des appareils a été compromise. Il a donc été décidé d'offrir aux utilisateurs une désagrégation (répartition de la consommation totale dans différents usages de l'électricité) de leur consommation électrique par bande de puissance (0 – 250 W, 250 – 750 W, etc...).

En parallèle, l'équipe de Geroco SA a développé l'infrastructure informatique de collecte et de stockage des données ainsi que les interfaces de visualisation nécessaires pour que les utilisateurs puissent suivre leur consommation d'énergie, obtenir leur consommation désagrégée et puissent recevoir de manière automatique des conseils basés sur les résultats de la désagrégation.

Abstract

To enable them to automatically generate an energy consumption report and receive customised advice on reducing their usage, almost 120 test households have installed a device to collect their consumption history on their energy meter.

Following some technical difficulties, the ability to automatically detect devices was compromised. We therefore decided to provide users with a disaggregation (total consumption split into the different types of electricity usage) of their consumption by wattage band (0 – 250 W, 250 – 750 W, etc.).

In parallel, the team from Geroco SA developed the infrastructure to collect and store the data and the display interfaces needed to enable users to track their energy consumption, obtain their consumption disaggregation and automatically receive advice based on the result of this disaggregation.

Table des matières

Résumé	3
Contexte	5
Objectif	8
Procédure / méthodologie	10
Résultats	17
Enseignements	25
Discussion / évaluation des résultats.....	29
Conclusions et perspectives, étapes ultérieures.....	32
Références	35
Table des figures	36
Annexe 1.1 : Graphique d'historique de consommation	40
Annexe 1.2 : Graphique de consommation en temps-réel.....	41
Annexe 2 : Graphiques de désagrégation hebdomadaire	42

Contexte

Que ce soit au niveau international pour des raisons de changements climatiques et de pollution, ou au niveau national, la volonté de stabiliser puis de diminuer les émissions de gaz à effet de serre devient de plus en plus importante.

D'autre part, les aspects politiques comme la stratégie énergétique 2050¹ de la Suisse, la volonté d'arrêter progressivement les centrales nucléaires et la dépendance à l'importation d'énergie laissent entrevoir la possibilité d'une pénurie d'énergie électrique à moyen terme.

Dans ce contexte, le défi à venir est de pouvoir produire assez d'énergie non polluante² pour couvrir la demande.

A cette fin, deux grands axes stratégiques sont envisageables : « Produire plus » et « Consommer moins ». C'est certainement une combinaison de ces deux axes qui permettra d'éviter de trop grands désagréments pour les consommateurs. Le sujet « Produire plus » est l'objectif de nombreuses études et constitue de nombreux challenges, technologiques, politiques, écologiques et économiques, mais il ne sera pas abordé lors de ce projet. L'accent a été mis sur la partie « Consommer moins », soit la réalisation d'économies d'énergie électrique.

Dans le domaine de la diminution de la consommation d'énergie électrique, de nombreux efforts peuvent être faits dans une multitude de domaines différents. Par exemple dans les entreprises, les administrations, les commerces, l'éclairage public, etc... Chaque économie est bonne à prendre et chaque domaine doit apporter sa pierre à l'édifice. Notons que la consommation des ménages représente une part non négligeable de la consommation électrique totale en Suisse, comme le montre la Figure 1.

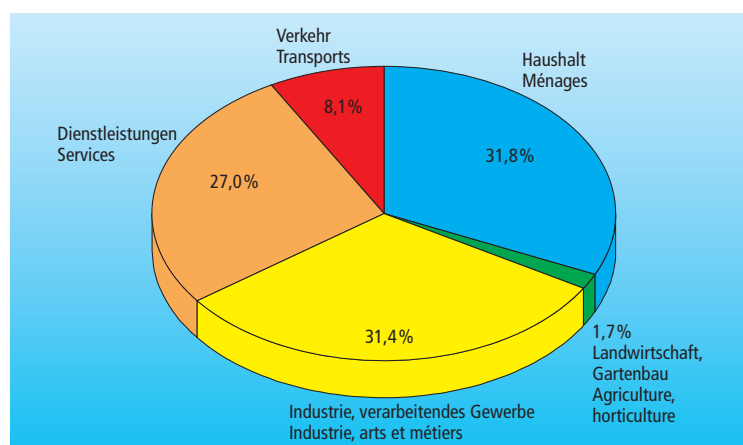


Figure 1 - Répartition des consommations d'énergie électrique dans les différent secteurs (Statistiques suisses de l'électricité 2014, OFEN)

Parmi cette multitude de domaines dans lesquels des économies d'énergie électrique sont possibles, le projet APEAS se propose d'adresser la thématique de « la réalisation d'économies d'électricité dans les ménages par le changement de comportement des habitants »³.

¹ www.strategieenergetique2050.ch

² On considère ici que la production d'énergie nucléaire ainsi que l'émission de gaz à effet de serre sont polluants.

³ Ici, le changement de comportement peut également amener à un changement d'appareil au sein du ménage.

En préambule au projet OFEN APEAS, un projet CTI (nommé APEAS également) a été réalisé. Lors de ce projet, un appareillage de mesure de la consommation relativement coûteux (1000.- par dispositif) capable de mesurer avec une fréquence de 1Hz la puissance active et réactive des trois phases électriques, avait été installé pendant un mois dans 50 ménages. Des algorithmes semi automatiques, basés sur ces mesures, ont été développés afin de désagréger⁴ la consommation de ces ménages.

Les catégories d'appareils qu'il était possible d'identifier étaient les suivantes :

- La bande de base (consommation électrique engendrée par une puissance en-dessous de laquelle la courbe de charge ne descend jamais). Cette dernière est composée d'appareils comme les modems, NAS, veille d'appareils électroniques.
- La chaîne de froid (les réfrigérateurs et les congélateurs).
- Le gros électroménager (lave-linge, sèche-linge et lave vaisselle).
- La cuisson.
- L'électronique (comprenant l'éclairage).
- Appareils atypiques (ceux qui n'ont pas pu être identifiés clairement).

Les résultats de ces algorithmes ont été analysés manuellement⁵ et un conseil personnalisé visant à diminuer la consommation d'électricité était délivré lors d'un rendez-vous avec les habitants des ménages. Lors de ce rendez-vous, une fiche résumant l'analyse du foyer et les conseils donnés avaient été remis aux habitants de chaque foyer. De manière générale, la démarche et les conseils ont été très bien reçus et une bonne partie des ménages ont identifié des comportements sur lesquels agir pour faire diminuer la consommation d'énergie de leur foyer, comme l'illustrent les images ci-après.



Figure 2 - Questionnaire de satisfaction aux ménages pilotes du projet CTI
(1=pas du tout, 5=totalement)

⁴ Déterminer la part de la consommation globale causée par différentes catégories de consommateurs.

Voir **Ferrez, P., & Roduit, P. (2013)**.

⁵ Par un expert de la HES-SO Valais.

Suite à l'entretien avec l'expert et en ayant le rapport en main, avez-vous entrepris une ou plusieurs actions en vue de réduire votre consommation.



Figure 3 - Questionnaire de satisfaction concernant les actions entreprises suite aux conseils

Afin de pouvoir fournir ces conseils personnalisés, du matériel coûteux et une installation par un électricien avaient été mis en œuvre. De plus, l'analyse et le feedback aux ménages nécessitaient une intervention humaine. Toutes ces opérations, de par leur coût et la difficulté technique de mise en œuvre, rendaient le système difficile à déployer à grande échelle. Pour cette raison, il a été décidé, en réalisant le projet OFEN APEAS, de simplifier le dispositif technique de mesure de la consommation ainsi que d'étudier la possibilité d'automatiser l'analyse et le conseil aux ménages.

Objectif

Afin d'atteindre le but général de « *réaliser des économies d'électricité dans les ménages par le changement de comportement des habitants* », le projet APEAS propose la réalisation d'une plateforme (web, mobile) automatique d'accompagnement des habitants des ménages. Cette plateforme doit pouvoir montrer aux habitants leur consommation d'énergie électrique et la manière dont cette dernière est consommée, proposer des conseils d'économie personnalisés en fonction de leur consommation d'électricité effective, pour les accompagner dans la réalisation de ces conseils.

Pour mener à bien la création de cette plateforme, le projet APEAS se compose de trois objectifs (ou workpackages) principaux.

1. Mise en œuvre d'une infrastructure technique permettant de récolter de manière fiable l'évolution de la consommation des ménages, ceci avec une résolution temporelle relativement importante (1Hz).
 - a. Le système doit pouvoir relever une fois par seconde l'index de consommation d'énergie électrique d'un compteur, en continu, sur toute la durée du projet (et par la suite, dans le cadre d'une commercialisation, l'acquisition des données doit se faire *ad aeternam*).
 - b. La contrainte de coût du système est également déterminante. Ce dernier doit être d'un coût raisonnable pour l'utilisateur final. A cette fin, il a été défini que le système de mesure doit pouvoir être installé par l'utilisateur final, sans avoir à faire intervenir un technicien, ce qui ferait augmenter les frais de mise en œuvre du système. La partie du projet portant sur cet objectif sera désignée plus loin par « l'Acquisition ».



Figure 4 - Lecteur d'impulsion Current Cost se fixant sur un compteur électrique

2. Recherche et développement d'une série d'algorithmes permettant, sur la base des données récoltées par le dispositif précédemment cité, de déterminer quelle est la consommation des différentes catégories d'appareils présents dans les ménages étudiés.

L'idée est d'analyser de manière automatique la courbe de charge relevée sur le compteur électrique et de la désagréger en identifiant les comportements de consommation de puissance typiques des types d'appareils que l'on cherche à désagréger. Les catégories d'appareils que l'on cherche à désagréger ont été définies lors d'un projet CTI précédant le présent projet [Ferre, P., & Roduit, P. (2013) et Nussbaum E. (2014)]. La partie du projet portant sur cet objectif sera désignée plus loin par « la Désagrégation ».

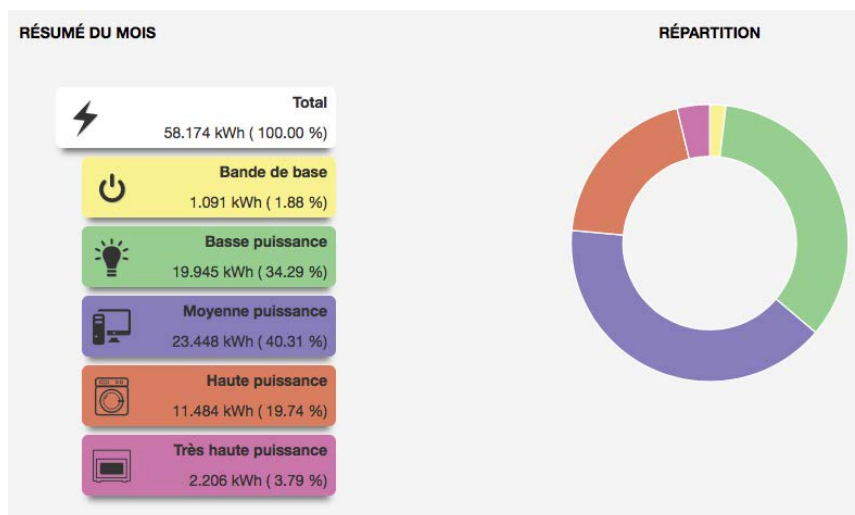


Figure 5 - Exemple de désagrégation de l'énergie consommée par un foyer

3. Fournir à chaque ménage, sur la base de la désagrégation issue des algorithmes décrits ci-dessus, des conseils pertinents basés sur la consommation effective du ménage (contrairement à des conseils génériques). Par exemple, en détectant qu'une catégorie d'appareils consomme de manière anormalement importante l'énergie, les conseils à propos de ce type d'appareils apparaîtront en premier lieu dans la liste. D'autre part, les conseils seront délivrés aux ménages de manière engageante⁶, sous forme de suites de petites actions à effectuer les unes après les autres. La partie du projet portant sur cet objectif sera désignée plus loin par « les Conseils ».



Figure 6 - Exemple d'action proposée aux ménages

Par ailleurs, en ayant un panel de 200 ménages pilotes séparés en deux groupes de 100 ménages, le projet APEAS doit pouvoir déterminer si le fait de fournir une plateforme de conseils et d'accompagnement aux ménages engendre une diminution de la consommation plus importante que de simplement montrer aux utilisateurs leur consommation.

Ces objectifs s'inscrivent dans une démarche globale visant à aider les ménages à changer leur comportement envers la consommation d'énergie de manière durable.

⁶ Au sens psychologique du terme, cf Nussbaum E. (2014).

Procédure / méthodologie

La méthodologie du projet APEAS s'appuie sur le postulat suivant : afin d'être en mesure de donner des conseils efficaces et pertinents, il faut adapter les conseils au comportement de consommation effectif du ménage. Pour pouvoir connaître le comportement effectif du ménage, il faut analyser sa consommation et déterminer comment est répartie cette consommation entre les différents appareils ou types d'appareils que comporte le ménage. Enfin, pour analyser la consommation du ménage, il faut pouvoir la mesurer de manière suffisamment fiable et précise.

La Figure 7 montre le schéma global de mesure – analyse – conseil que met en œuvre le projet APEAS. Dans ce schéma, aucune intervention automatique faisant diminuer la consommation par des moyens techniques imposés⁷ n'est prévue. En effet, ce sont les comportements et les moyens techniques⁸ mis en place par l'utilisateur qui génère une économie d'électricité et non des mesures imposées (une mesure imposée pourrait être, par exemple, une coupure automatique des gros consommateurs).

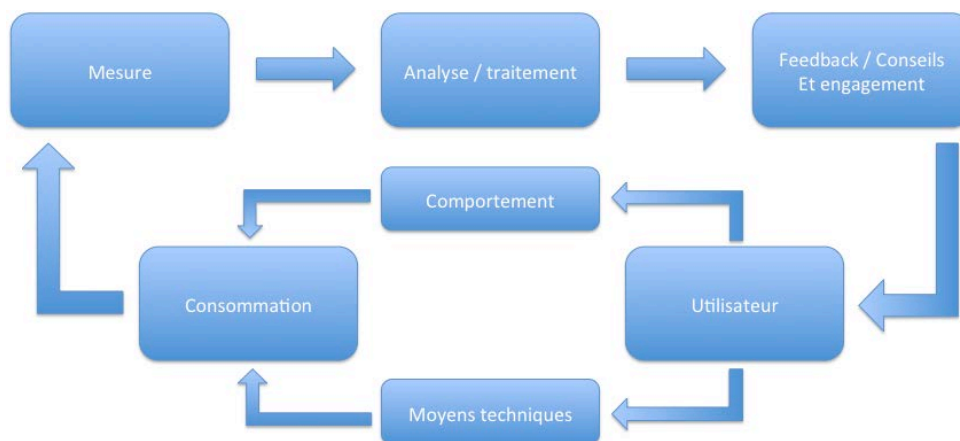


Figure 7 - Schéma global de Génération des économies

Ci-après sont décrites les méthodologies employées pour chaque workpackages. Bien qu'une partie de chaque objectif puisse être réalisée de manière indépendante, il existe une forte dépendance entre les objectifs (workpackages).

Workpackage Conseils

La méthodologie des mécanismes de conseils se base principalement sur le document **Nussbaum E. (2014)**.

L'idée consiste à proposer aux habitants d'un ménage des conseils pertinents par rapport à leur consommation effective. On entend par pertinent le fait que les conseils donnés permettront de faire des économies d'énergie réelles. Pour déterminer quels conseils seront pertinents, il faut premièrement évaluer quel est le potentiel d'économie des conseils présent dans un catalogue élaboré au préalable⁹. Pour cela, on se base sur la consommation effective du ménage et la répartition de sa consommation dans différentes catégories d'appareils.

⁷ Changements imposés du réfrigérateur, du chauffage, etc...

⁸ Changements volontaires d'appareils ou installation volontaire d'aide à la diminution de la consommation électrique, coupe-veilles, etc...

⁹ Chaque ménage aura un potentiel d'économie différent pour un conseil donné.

Pour prendre un exemple concret, pour un ménage ayant une consommation dans la catégorie d'appareils « Chaîne de froid » anormalement élevée en rapport au type de logement (appartement ou villa) et au nombre d'habitants, les conseils liés aux appareils de froid se verront attribuer une économie potentielle plus élevée que la cuisson, pour laquelle une consommation proche des standards a été détectée.

Tous les conseils du catalogue sont préalablement étudiés et un coefficient de potentiel d'économie est attribué à chacun en fonction du potentiel général qu'une telle action est censée réaliser. Ensuite le potentiel d'économie (en kWh) de chaque conseil est évalué en multipliant le coefficient de potentiel d'économie par l'écart qu'il existe entre la consommation de la catégorie et la consommation de cette même catégorie pour un ménage moyen suisse. Le résultat obtenu est une énergie qui peut être potentiellement économisée sur un an si le conseil est suivi de manière assidue. Bien entendu, cette énergie ne correspondra probablement pas à l'énergie exacte économisée par le ménage, car cela dépend de la manière de suivre le conseil mais également de beaucoup d'autres paramètres que nous ne pouvons pas maîtriser. Néanmoins, cela permet de classer les conseils en fonction des potentiels d'économie calculés et donc d'établir un classement propre à chaque ménage.

Les conseils sont proposés au ménage en fonction de son « score » d'économie potentielle. Ainsi les conseils les plus pertinents sont ceux ayant un potentiel d'économie d'énergie plus élevé.

D'autre part, la méthode prévoit également un accompagnement des habitants dans la réalisation des conseils d'économie d'énergie. Le but de cette démarche est d'engager l'utilisateur dans un comportement économe et d'obtenir une durabilité de ce comportement. Pour cela, il est prévu de proposer à l'utilisateur une série d'actions sous forme de très petits pas progressifs pour finalement atteindre l'objectif global du conseil dispensé.

La base de cette méthode est de proposer un conseil en fonction de la consommation du ménage ainsi que de la répartition de cette consommation dans différentes catégories clés. Il faut donc en premier lieu déterminer quelle est la consommation de ces catégories d'appareils pour le ménage. C'est le sujet du paragraphe suivant.

Workpackage Désagrégation

La désagrégation doit permettre, à partir de la mesure de la consommation électrique au cours du temps (courbe de charge) en un point unique du ménage (mesure de la consommation globale), de déterminer à quel moment les appareils appartenant à certaines catégories (aussi appelés usages dans la littérature¹⁰) ont fonctionné et quelle a été leur consommation d'énergie dans un laps de temps donné (jour, semaine, ...). On obtient par exemple la répartition de l'énergie totale consommée en une journée dans les différents usages, comme le montre la Figure 8.

¹⁰ M. El Guedri 2009

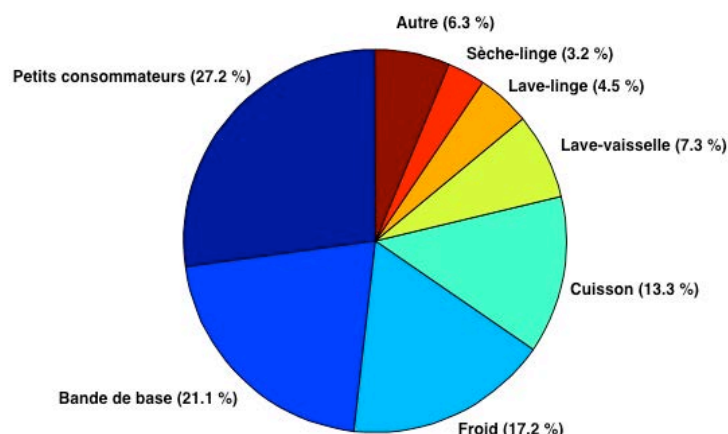
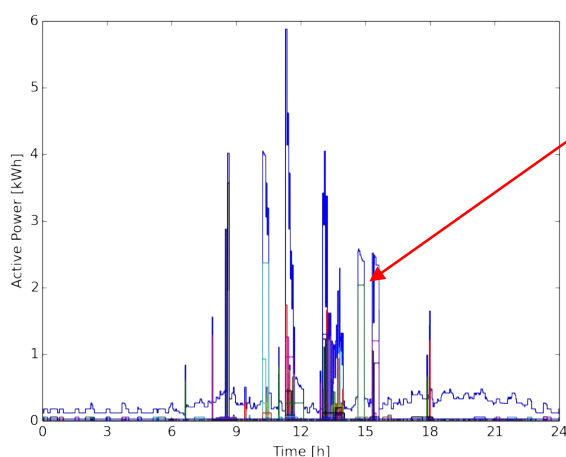


Figure 8 - Résultat de la désagrégation journalière d'un ménage

Il existe plusieurs manières de reconnaître et détecter le schéma d'utilisation de la consommation dans une courbe de charge. La méthode utilisée dans le cadre de ce projet se base sur la courbe de charge de puissance (en Watt) et peut être décrite comme suit¹¹ :

1. Recherche, après filtrage des mesures reçues, de la puissance minimum en dessous de laquelle le ménage ne consomme pas. Cette puissance continue, et l'énergie en résultant, est appelée la bande de base.



La surface sous le rectangle vert représente l'énergie consommée par un unique appareil.

Figure 9 - Courbe de charge sur un jour, les paires d'évènements sont en couleur par dessus la courbe de charge

2. Parcourir la courbe de charge, diminuée de la puissance de bande de base identifiée juste avant, et détecter chaque changement de puissance significatif. Les changements de puissance positifs sont considérés comme des enclenchements d'appareils et les changements de puissance négatifs sont considérés comme des déclenchements d'appareils. On regroupe

¹¹ Le choix de cette méthode de désagrégation a été fait, notamment, afin de pouvoir être utilisé avec un appareillage de mesure peu onéreux, comme on le verra dans la partie acquisition ainsi que pour demander une puissance de calcul faible par rapport à d'autres méthodes se basant sur un traitement de signal plus lourd.

ensuite ces événements par paires, soient un enclenchement et un déclenchement consécutifs de puissance proche, comme le montre la Figure 9.

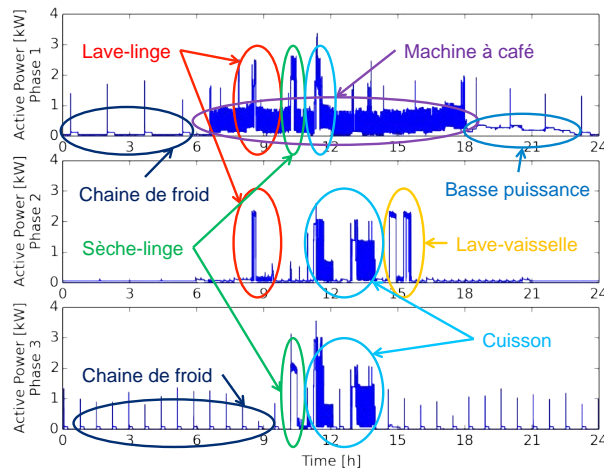


Figure 10 - Identification des paires d'événements

- Une fois la bande de base extraite et les paires d'événements identifiées, on classe les paires d'événements dans les différentes catégories (ou usages) en fonction du moment de la journée auquel l'événement est survenu, la puissance de l'événement et sa durée.

Sur la Figure 10, on peut voir différentes paires d'événements identifiés par catégorie d'appareils.

Workpackage Acquisition

Afin de choisir le matériel et définir la méthode d'acquisition, il convient de définir quelles doivent en être les caractéristiques de performance, de résolution et de coût. Un des enjeux du projet est que le résultat de la recherche puisse découler sur un produit commercial accessible au plus grand nombre.

Les aspects de coût et de facilité d'installation sont primordiaux. De plus, la courbe de charge relevée par l'appareil choisi doit avoir une résolution temporelle suffisante pour que l'on puisse détecter avec les algorithmes de désagrégation les événements d'enclenchement et de déclenchement des appareils.

Les caractéristiques de l'appareil sont issues notamment des recommandations du partenaire académique HES-SO Valais suite aux conclusions du projet CTI ayant précédé cette recherche, ainsi qu'aux discussions avec les partenaires distributeurs d'énergie Groupelec et Romande Energie :

- Prix final pour le client : moins de 200.-
- Résolution temporelle : 1Hz
- Résolution en énergie consommée entre deux points : pas plus d'un Wh
- Doit pouvoir être installé par un habitant du ménage sans intervention d'un technicien.

Le dernier point de la liste ci-dessus exclu d'emblée tout appareil sur lequel il faut raccorder l'alimentation électrique du foyer. La mesure de la consommation doit pouvoir être posée par dessus l'installation existante sans ouvrir le circuit électrique du foyer. Il existe sur le marché une multitude d'appareils permettant de mesurer la

consommation électrique d'un ménage. Les plus répandus sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Type de lecteur	Description	Avantages	Inconvénient
Lecteur OCR	Une caméra lit le chiffre affiché par le compteur existant.	Facile à installer, s'adapte aux compteurs mécaniques.	Fiabilité à prouver, onéreux.
Mesure par pinces ampérométriques	Une pince ampérométrique est installée sur chaque phase.	Mesure la puissance, ne dépend pas du compteur existant.	Onéreux, installation par client pas possible.
Communication avec SmartMeter	Si un SmartMeter est présent, un bus de communication permet de lire la valeur d'index de consommation.	Mesure la puissance, précis.	Techniquement difficile à installer. Compatibilité pas assurée. Onéreux.
Lecteurs d'impulsions	Relève les impulsions d'une LED sur le compteur électrique. Relève les tours de disque en cas de compteur mécanique.	Simple à installer, bon marché.	Dépend de la résolution du compteur.

Les critères de coût et de « non intervention d'un technicien » ont orienté le choix vers le lecteur d'impulsions. Un firmware spécifique au projet, permettant de relever l'état de la consommation chaque seconde au lieu de chaque 900 secondes comme c'était le cas pour le matériel existant, a été réalisé sur le matériel du fournisseur choisi (Current Cost Ltd, UK¹²), que l'on peut voir sur la Figure 4. Pour le projet de recherche, le critère de résolution en énergie étant de 1Wh, la sélection de ménages tests a pris en compte ce critère pour choisir les ménages pouvant recevoir le kit de mesure.

Notons que la grandeur relevée n'est plus la puissance instantanée consommée par le ménage, comme c'était le cas avec l'appareillage utilisé lors du projet CTI, mais un index d'énergie consommé par le ménage. Cette différence a des conséquences qui seront traitées plus loin dans ce document.

¹² Nous avons appris par la suite que Current Cost Ltd. est un distributeur de ce matériel et que le fabricant est l'entreprise Energomonitor en République Tchèque.

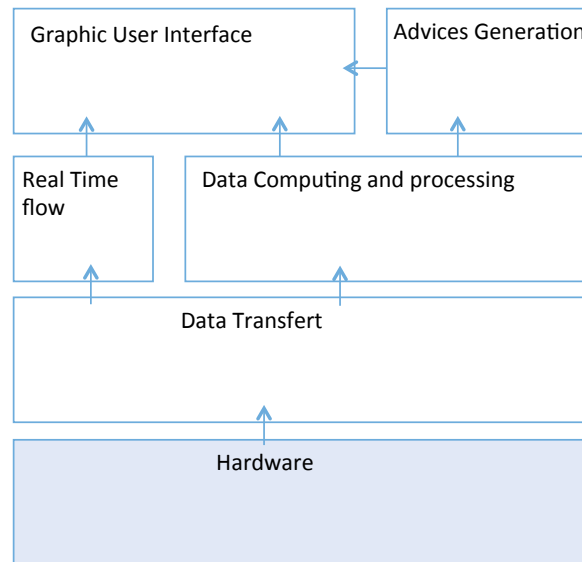


Figure 11 – Cheminement des données

Le cheminement des données se déroule de la manière suivante, comme illustré sur la Figure 11.

Dans le ménage : le lecteur d'impulsion est placé sur le compteur électrique du ménage. Concrètement, un détecteur de luminosité est placé par dessus une LED qui s'allume brièvement à chaque fois qu'une énergie de 1Wh a été consommée par le ménage. Le lecteur compte ces impulsions et incrémente une valeur dans sa mémoire. Toutes les secondes (fréquence de 1Hz) le lecteur envoie la valeur de ce compteur à un concentrateur au travers d'une connexion sans fil. Ce concentrateur est connecté à internet au travers de la connexion internet du ménage. Il est important de noter que si le ménage consomme très peu de puissance, plusieurs envois consécutifs de la valeur incrémentale seront identiques. Le concentrateur, en plus de transmettre les valeurs du compteur d'impulsion, calcule la puissance moyenne consommée par le ménage toutes les 6 secondes en calculant la différence d'énergie consommée au cours des 12 dernières secondes. Cette valeur est également envoyée au serveur en continu.

Connexion au serveur : Le concentrateur se trouvant dans le ménage est connecté à un serveur¹³ au travers d'une connexion sécurisée en utilisant le protocole MQTT¹⁴, approprié pour les échanges de flux de données. Chaque seconde l'index d'énergie consommée est transmis au serveur. A cela s'ajoute une valeur de puissance envoyée toutes les 6 secondes. Lorsque le serveur réceptionne les données, ces dernières sont stockées dans une base de données de type MongoDB¹⁵, spécialement efficace en écriture. Ce choix a été fait car tous les compteurs des ménages installés envoient une valeur chaque seconde. Cela mène rapidement à une quantité importante d'écritures très rapprochées dans le temps. Cela représente environ 0.5 Go de donnée par ménage et par jour.

Traitement des données : Chaque jour, les algorithmes de désagrégation viennent

¹³ Le serveur et les bases de données utilisées pour stocker la consommation sont les mêmes que pour le produit Ecowizz de Geroco SA (www.ecowizz.net).

¹⁴ Protocole d'échange de message « machine-to-machine » très léger et nécessitant peu de bande passante de la connexion internet (mqtt.org).

¹⁵ MongoDB est une base de données non relationnelle (<https://www.mongodb.com/fr>). Ici, nous l'avons utilisée car elle permet une écriture rapide nécessaire car il doit être possible d'inscrire une donnée chaque seconde pour chaque utilisateur.

chercher les données du jour précédent, déterminant la répartition de la consommation dans les différentes catégories, puis stockent les valeurs ainsi obtenues dans une base de données MySQL classique. Une fois les données brutes (enregistrées chaque seconde) traitées, ces dernières sont éliminées, car leur stockage à long terme représente un volume de données beaucoup trop important pour être stocké à un coût raisonnable sur un serveur web. A titre indicatif, un GigaOctet (Go) sur serveur virtuel hébergé en Data Center (solution choisie) coûte -.10CHF par mois. Sans nettoyage régulier des données, le coût du stockage peut exploser rapidement.

Une fois les données calculées, elles peuvent être affichées sur la plateforme web, que ce soit l'historique de l'ensemble de la consommation ou la consommation désagrégées jour par jour.

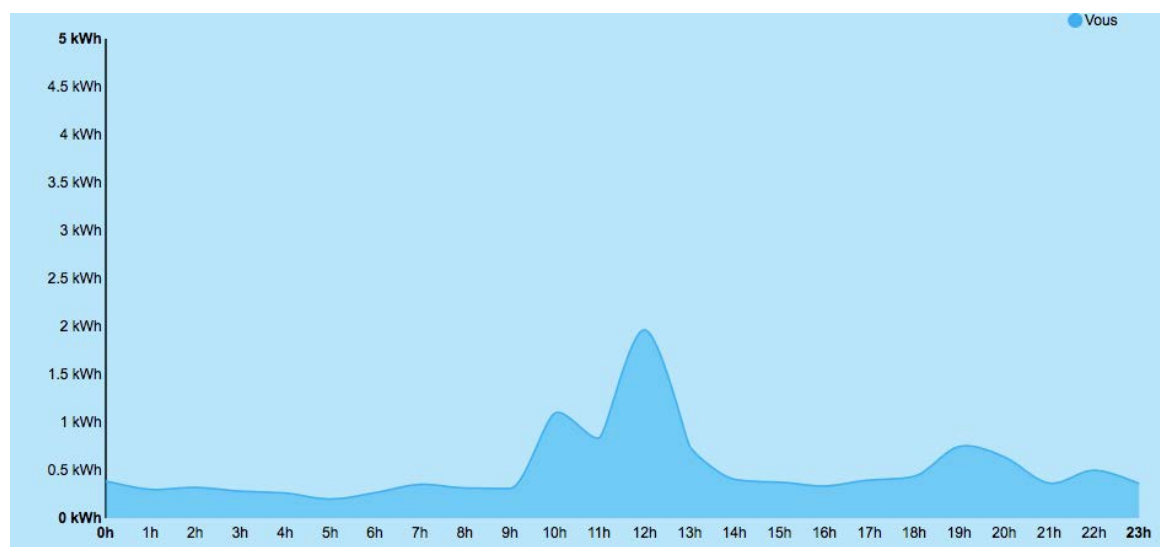


Figure 12 - Exemple d'une consommation horaire durant un jour

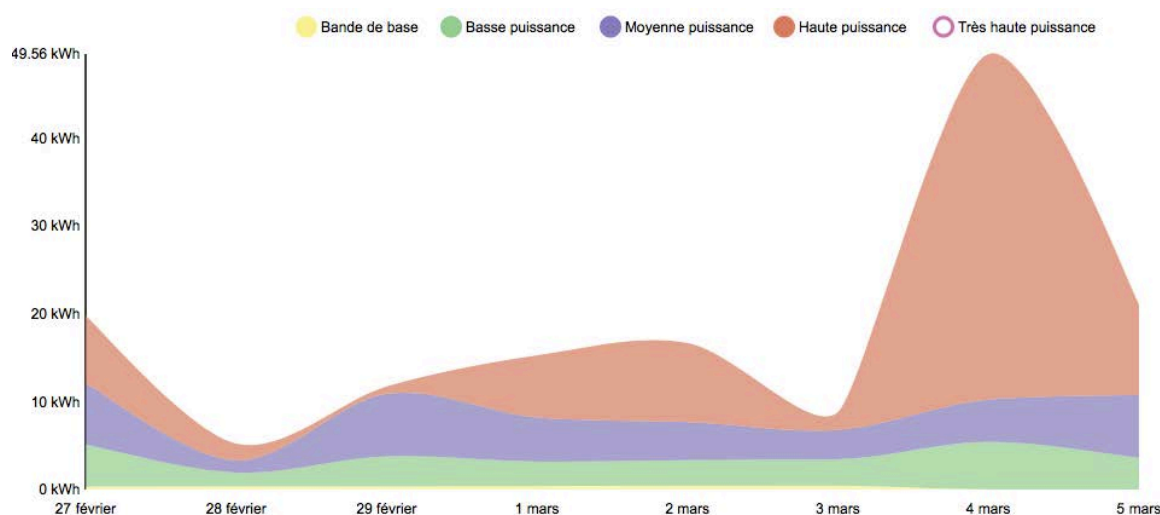


Figure 14 - Exemple d'une désagrégation d'une semaine, jour par jour

Résultats

Dans ce chapitre, les résultats des différents objectifs (workpackages) sont présentés.

Workpackage Acquisition

Sur les 200 prévus, les kits de mesure de type lecteur d'impulsion ont été installés dans 180 ménages. Nous avons eu besoin d'une dizaine de kits afin de réaliser le développement de l'infrastructure serveur. D'autre part, une dizaine de kits nous a été retourné car les ménages en question n'avaient pas de compteur électrique compatible.

Les ménages sélectionnés sont de typologies différentes et répartis dans les cantons du Valais et de Vaud. Ainsi, le panel des ménages pilotes est suffisamment hétéroclite pour être représentatifs.

La grande majorité des ménages ont pu installer seuls et sans aide les kits de mesure livrés.

Pour 120 des ménages installés, nous avons des données de qualité et continues depuis le 1^{er} septembre 2015.

La plateforme web permettant de visualiser l'historique des données de consommation a été développée. L'Annexe 1 montre des illustrations de ces interfaces développées dans le cadre du projet.

Workpackage Désagrégation

Un travail de recherche a été effectué sur les algorithmes de désagrégation de la courbe de charge. En effet, bien qu'un algorithme de désagrégation initial ait été développé lors du projet CTI, les données brutes sont, dans le cadre de ce projet OFEN, très différentes.

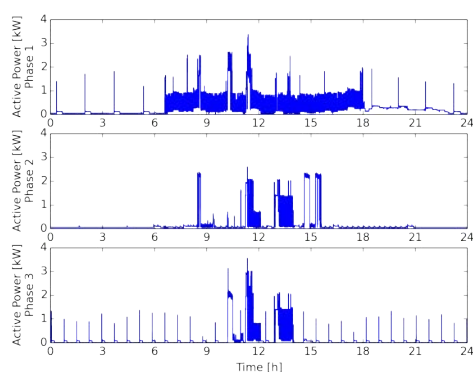


Figure 13 - Courbe de charge projet CTI

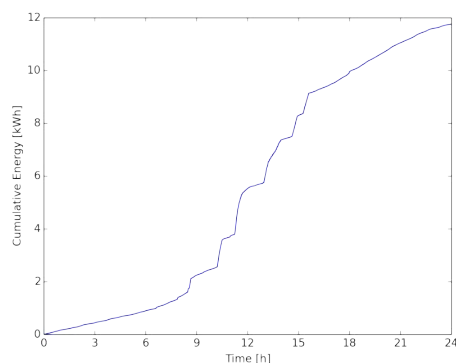


Figure 14 - Courbe de charge avec lecteur d'impulsions

Comme on le voit aux figures Figure 13 et Figure 14, la courbe de charge récoltée avec le lecteur d'impulsions comporte, de par la nature de l'acquisition de données, les défauts suivants :

- Une seule courbe cumulant les 3 phases électriques au lieu de 3
- Pas d'information de puissance active / réactive
- Courbe d'index d'énergie au lieu de puissance (les algorithmes travaillent sur la courbe de charge en puissance, il y a donc une conversion à effectuer). Du fait de la résolution en énergie de la mesure (1 impulsion tout les Wh consommé), la transformation en puissance donne des résultats tronqués. Par

exemple, une consommation de 100W donnera une impulsion toutes les 36 secondes et pas d'évolution entre deux. On voit bien ce phénomène sur la Figure 15, qui représente la courbe de charge en puissance obtenue à partir de la Figure 14. La courbe de puissance est obtenue par „dérivation“ de la courbe d'énergie. Concrètement, on fait la différence entre chaque échantillon de la courbe d'énergie. Comme la résolution temporelle est de 1 secondes et la résolution en énergie est de 1Wh avec le système de mesure utilisé, il ne peut y avoir que des valeurs de puissances de multiples entiers de 1 Wh/sec soit 3.6 kW. Ainsi les valeurs de la courbe de charge en puissance ne peuvent être que de 3.6kW s'il y a eu une impulsion durant une seconde donnée, 7.2kW s'il y a eu 2 impulsions durant une seconde donnée, 10.8kW si 3 impulsions, etc...

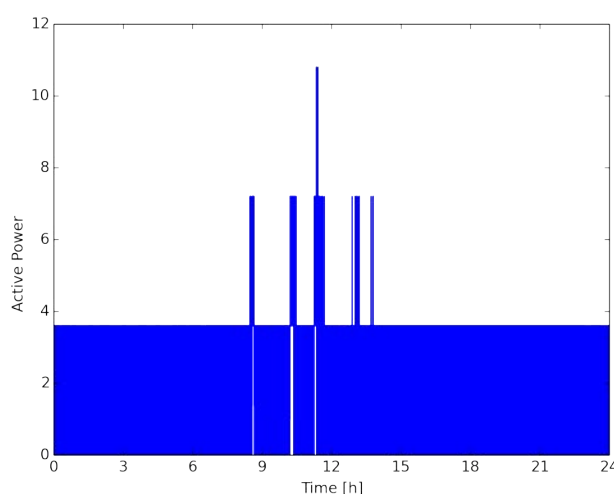


Figure 15 - Reconstitution de la courbe de puissance à partir de l'index de consommation

On remarque que la courbe de puissance obtenue à partir des données brutes relevées par le compteur d'impulsions est très peu instructive en l'état. Il convient d'appliquer un filtre afin de lisser la courbe. On obtient ainsi une courbe de charge telle que montrée à la Figure 16 en appliquant une moyenne glissante sur la courbe de la Figure 15.

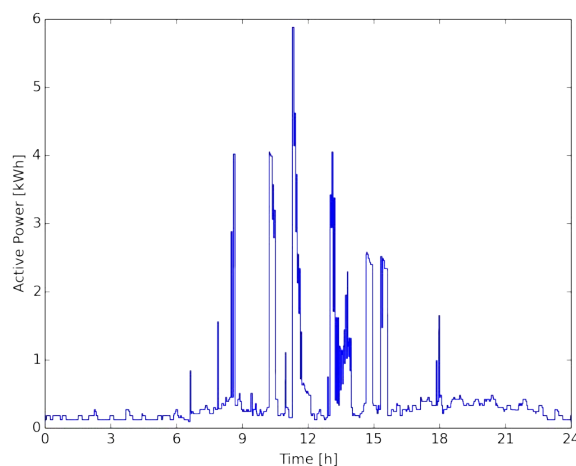


Figure 16 - Courbe en puissance filtrée

En l'état, à la fin du projet, la désagrégation par catégorie de consommateur ne peut pas être réalisée de manière automatique par les algorithmes à partir d'une courbe de charge comme celle présentée à la Figure 16. En effet, les imprécisions engendrées par la nature de la mesure, la conversion de l'index d'énergie en puissance et le filtrage nécessaire sont telles que l'algorithme ne parvient pas à distinguer les patterns des appareils qui sont maintenant bien moins précis qu'en ayant une courbe de puissance sur 3 phases.

En revanche, il est possible de désagréger la consommation du ménage en « bandes de puissance ». Les catégories deviennent ainsi :

- Bande de base (veilles des appareils électroniques, les systèmes de surveillance, les appareils de connexion TV et le boîtier internet enclenchés en permanence).
- Basse puissance (consommations de moins de 250W, outre la bande de base, par exemple : appareils de froid (congélateurs, réfrigérateurs), petits consommateurs comme les télévisions, les ordinateurs portables, les chargeurs de téléphone et d'ordinateurs portables, les appareils électroniques et l'éclairage)
- Moyenne puissance (de 250W à 750W : ordinateur de bureau, imprimantes, micro-ondes)
- Haute puissance (de 750 à 2300W : le gros électroménager, comme le lave-linge, le sèche-linge, le lave-vaisselle et les aspirateurs)
- Appareils multiphasés (au dessus de 2300W : les chauffages électriques, les boilers électriques, les fours et plaques de cuisson)

La désagrégation en bandes de puissance peut être appliquée à tous les ménages de manière complètement automatique et permet déjà de tirer certaines conclusions quant au comportement de consommation électrique du ménage observé.

En observant les figures Figure 17 et Figure 18, on constate un comportement consommateur très différent entre ces deux ménages. Premièrement la bande de base. Le ménage 1 a cherché à éteindre ses appareils lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Le ménage 2 possède un appareillage informatique devant rester enclenché 24h/24, d'où une importante bande de base dans son foyer.

Le ménage 1 consomme une grande partie de son énergie dans la bande « multiphasé ». Il s'agit en fait d'un boiler électrique, facilement détecté grâce à cette désagrégation par bande de puissance.

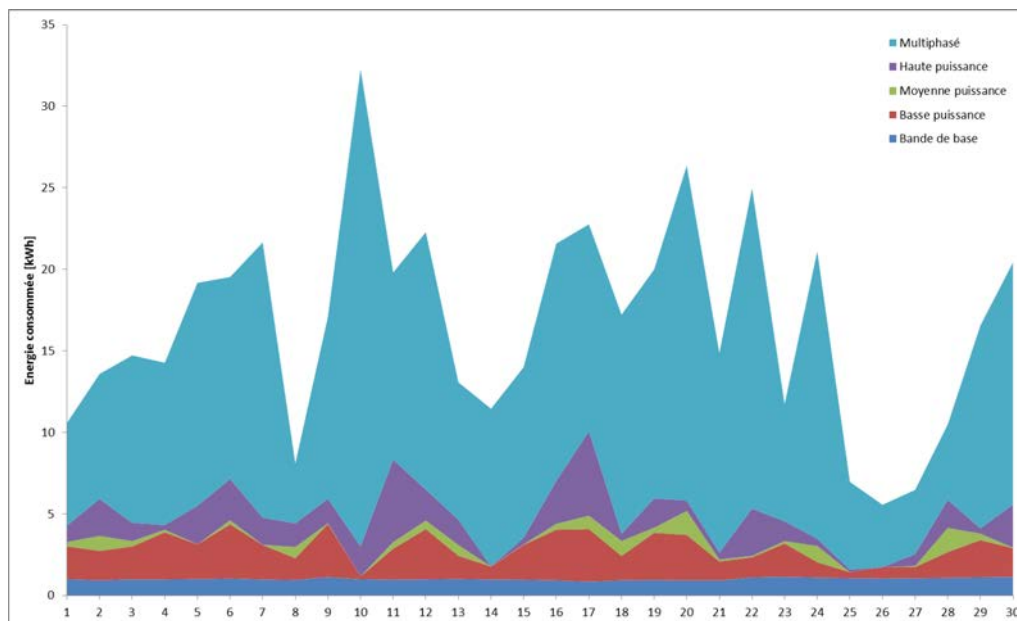


Figure 17 - Désagrégation mois de septembre Ménage 1

D'autre part, les algorithmes étant capable de désagréger les catégories d'appareils ont été développés également. Cependant, ces derniers nécessitent des paramètres spécifiques à chaque ménage afin de fonctionner correctement. Actuellement, ces paramètres ne peuvent être obtenus que par lecture par une personne de plusieurs jours de courbe de charge afin de déterminer les paramètres visuellement. Ces paramètres sont, par exemple, la durée des cycles de lavage des appareils de gros électroménager, les heures des repas, la puissance du chauffage d'une machine à laver, le nombre d'appareils de froid présent dans le ménage, ...

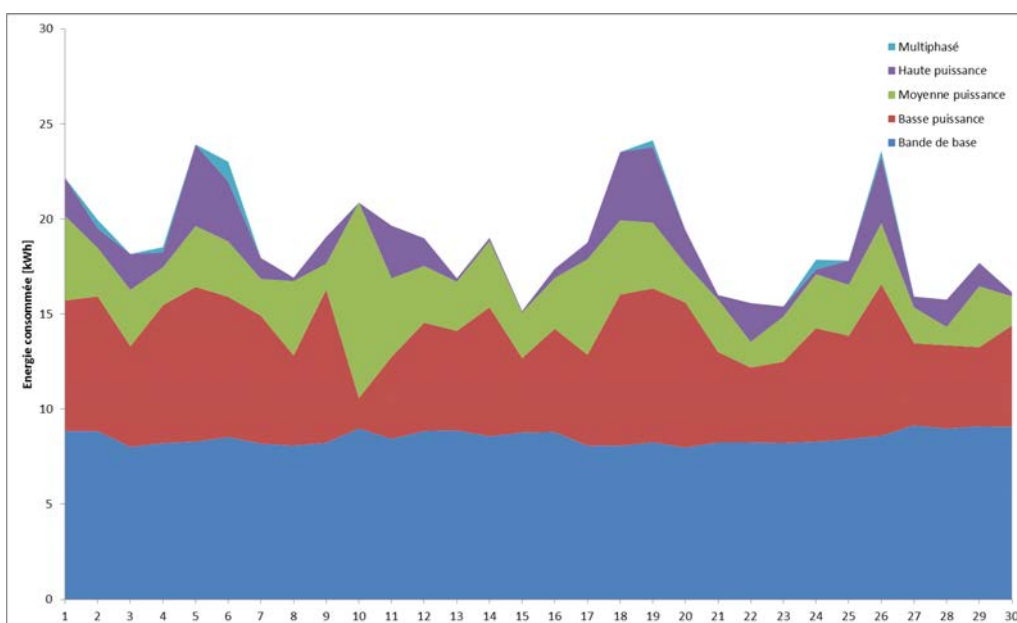


Figure 18 - Désagrégation mois de septembre Ménage 2

Notons que la bande de base est relativement stable dans les deux cas tout au long du mois. Ce résultat est attendu, puisque la définition de la bande de base est justement de rester stable tout au long de la journée, et logiquement, si aucun changement n'est effectué par l'utilisateur, tout au long du mois.

Les illustrations en Annexe 2 montrent l'interface web conçue pour afficher les résultats de la désagrégation.

Workpackage Conseils

L'interface de conseils automatisés et personnalisés est l'aboutissement du projet. Elle permet de dispenser des conseils d'utilisation afin d'avoir un impact durable sur le comportement des ménages.

L'interface de conseils a été réalisée pour être accessible autant par ordinateur que par tablette ou téléphone mobile, grâce aux techniques récentes de « responsive design »¹⁶.

La partie conseils de la plateforme APEAS a été pensée sous forme d'une liste, ou d'un catalogue d'objectifs. Ces derniers sont classés en fonction d'un potentiel d'économie personnalisé dont le calcul est expliqué dans le chapitre « Méthodologie ».

Chaque objectif contient une suite d'actions à effectuer par l'utilisateur (qui, si possible, incite les autres habitants de son ménage à agir de la même manière). Une fois que l'utilisateur a effectué une action, il la valide sur la plateforme et une question lui est posée à propos de la réalisation de cet objectif.

La Figure 19 de la page suivante montre la construction et le fonctionnement de l'interface de conseils automatisés.

Afin de rendre les conseils pertinents – et de ce fait plus motivant à suivre – ces derniers sont triés avant d'être proposés aux utilisateurs. Ainsi, les conseils les plus pertinents seront proposés en premier. Par pertinent, on entend ici : « Ayant un potentiel d'économie d'énergie important ».

La méthode permettant de définir le potentiel d'économie d'un conseil est la suivante :

1. Chaque conseil est évalué à sa création par les experts en énergie qui l'introduisent dans le système et il lui est directement assigné un pourcentage d'économie potentiel. Ce pourcentage représente la proportion de la bande de puissance concernée par le conseil qu'il est possible d'économiser en suivant le conseil.
2. Lorsque l'utilisateur se rend sur la plateforme, l'algorithme effectue le calcul du potentiel d'économie de chaque conseil en énergie (kWh). Pour ce faire, la consommation moyenne de la bande de puissance des deux dernières semaines est multipliée par le pourcentage de potentiel d'économie. La consommation réelle du ménage est ainsi prise en compte dans l'évaluation du potentiel d'économie.
3. Le tri des conseils est ensuite réalisé en fonction de la quantité évaluée d'énergie que le conseil peut potentiellement faire économiser au ménage. Les conseils ayant les économies potentielles les plus élevées sont proposés en premier.

¹⁶ Le « responsive web design » ou site web adaptatif vise à rendre l'utilisation de la plateforme confortable autant sur ordinateur que sur mobile (tablettes et smartphones) en modifiant la disposition des éléments graphiques en fonction de la taille de l'écran.

Objectifs actuellement en cours de réalisation par le ménage. Plusieurs objectifs peuvent être menés en parallèle, bien qu'il soit recommandé de ne pas en mener plus de deux à la fois pour rester efficace.

Objectif sélectionné :

Montre si l'objectif sélectionné est actuellement en cours, si des actions de cet objectif ont été réalisées et quel est le potentiel d'économie en fonction des mesures effectuées dans le ménage

The screenshot displays the 'MIEUX COMPRENDRE MON ÉNERGIE' interface. On the left, a sidebar shows navigation icons. The main area is divided into two columns. The left column, titled 'Liste des Objectifs', contains a search bar and a list of objectives. The right column, titled 'Détails de l'Objectif', provides detailed information for the selected objective.

Liste des Objectifs:

- En cours:**
 - Éliminer les veilles à la cuisine :** Moyenne puissance - Élimination des veilles. Chercher quels appareils consomment inutilement à la cuisine... 0/3, 15 %
 - Mon objectif:** Très haute puissance. À définir... 0/0, 15 %
- À venir:**
 - Éliminer les veilles des appareils multimédia :** Chaîne de froid - Élimination des veilles. Il s'agit de réduire au maximum les veilles des appareils mu... 2/5, 10 %
 - Optimiser le réglage de la Chaîne De Froid:** Général - CDF. Le but est d'optimiser le réglage et l'emplacement des appar... 0/0, 10 %
 - Appareils détaillants ou mal réglés :** Général - Trouver les consommations anormales : Trouver les appareils qui... 0/4, 5 %

Détails de l'Objectif:

Éliminer les veilles des appareils multimédia :
Chaîne de froid - Élimination des veilles
 Potentiel d'économie annuelle de la consommation de Chaîne de froid : 10 %

Status : En cours
Etape : 2/5
Potentiel d'économie : 296 216 kWh / an, 65.17 CHF / an, 47 394 gCO₂ / an

Mes Résultats : (Élimination des veilles)
Objectif démarré le 2016-02-12
 Économie réalisée sur Chaîne de froid (objectif 10 %) :
 ⚡ 296'216 kWh (296'216 kWh)
 💰 65.17 CHF (65 CHF)
 🌳 47'394 kg de CO₂ (47'394 kg de CO₂)

Action 1: ★★★★★ En cours
 Aujourd'hui, une petite réflexion à propos de vos appareils multimédia. Veuillez noter ci-dessous les appareils multimédia de votre foyer qui sont en permanence sous tension. Indiquez s'il est vraiment indispensable de les laisser enclenchés.

Bilan de l'objectif sélectionné :
 Montre la date de début de l'objectif et quelles sont les économies d'énergie estimées à ce jour, depuis le commencement de l'objectif. L'estimation se base sur la consommation de la bande de puissance en question durant les deux semaines avant le commencement de l'objectif et la consommation actuelle.

Note : les valeurs sont fictives sur cette illustration.

Liste des actions à effectuer dans l'ordre pour cet objectif. Une fois l'action terminée, l'utilisateur entre son appréciation personnelle de l'action et répond à une question simple à propos de l'action. L'utilisateur peut aller à son rythme, mais une action journalière est conseillée.

Figure 19 – Interface de conseils automatisés

Diffusion des conseils

L'interface de conseils a été mise à disposition de la moitié des ménages, sélectionnés aléatoirement tout en prenant garde à maintenir le ratio appartement/villa dans les deux groupes. Les utilisateurs concernés ont pu accéder à un onglet supplémentaire (Figure 19) dans leur interface et ont commencé à utiliser le système de conseils → objectifs → actions.

Au vu du délai relativement court entre la mise à disposition de l'interface de conseils et des retours des utilisateurs, nous avons interrogé plusieurs utilisateurs en direct pour leur demander leur avis sur l'outil.

Ainsi, nous relevons que la vingtaine de conseils proposés et délivré en fonction de leur situation de consommation leur a permis de mieux comprendre les autres informations proposées dans l'outil APEAS.

En effet, les visuels que sont l'Historique de consommation et la désagrégation par bande reste tout-de-même technique dans son appréhension puisque représenté par graphiques et non en français littéraire. Ainsi, des conseils permettent à l'utilisateur de comprendre la situation dans laquelle ils se trouvent et de se sentir guidés dans les actions à mener.

Aujourd'hui, la dizaine de personnes interrogées sur cet outil nous ont confirmé l'utilité d'affiner les propositions d'amélioration de leur consommation d'énergie et plus particulièrement concernant les actions à mener sur les bandes de faible consommation.

Enseignements

Acquisition

Premièrement, l'infrastructure informatique mise en place au début du projet n'était pas suffisante. Lors des premiers essais avec les kits de mesure, un serveur peu puissant constitué d'un seul processeur et de 2Go de mémoire vive suffisait à absorber les données en provenance des kits de mesure. Une fois une cinquantaine de kits connectés, des « trous » de données ont commencé à apparaître. En atteignant les 100 kits connectés, certains n'enregistraient plus de données pendant plusieurs minutes voire quelques heures. Ce problème a été résolu du côté de l'infrastructure serveurs de Geroco SA, en doublant le nombre de processeurs utilisés et en passant de 2Go de mémoire vive à 24Go.

D'autre part, le fournisseur des kits de mesure, Current Cost Ltd., nous avait assuré qu'il n'était pas nécessaire d'effectuer un « pairing » entre les concentrateurs et les lecteurs d'impulsion. En d'autres termes, les deux éléments venant d'une même boîte étaient déjà associés au niveau du réseau sans fil à la sortie d'usine. Or, nous avons constaté le contraire, plus tard, au moment des tests de mise en service. De ce fait, les kits de mesures situés dans une même zone géographique d'un rayon d'environ 20 mètres (même immeuble voire même quartier), se perturbent mutuellement et les données reçues par le serveur sont inutilisables. Environ 60 des ménages sélectionnés étaient dans ce cas. Nous avons maintenant la procédure permettant de rétablir la situation.

Finalement, il reste, outre les points évoqués ci-dessus, plusieurs ménages dont les données sont parfois absentes au point de ne pas pouvoir effectuer la désagrégation sur certains jours. Ce point concerne environ 10% des ménages. Et c'est un point ouvert que nous souhaitons résoudre en collaboration avec le fabricant du matériel. Dans certains cas, nous avons découvert que des ménages coupaient leur concentrateur comme leur modem/routeur la nuit pour faire des économies d'énergie, ce qui nous empêchait d'obtenir des données la nuit.

Désagrégation

Bien qu'il n'ait pas été possible de réaliser un algorithme de désagrégation complètement automatique, les résultats obtenus et les difficultés surmontées ont permis de valider une grande partie du processus. La désagrégation par bande de puissance fonctionne sur tous les ménages ayant une continuité de données suffisante (pas plus d'une heure d'absence de données de courbe de charge) et les résultats obtenus quant à l'exactitude de la répartition de l'énergie dans les différentes bandes de puissances définies sont excellents.

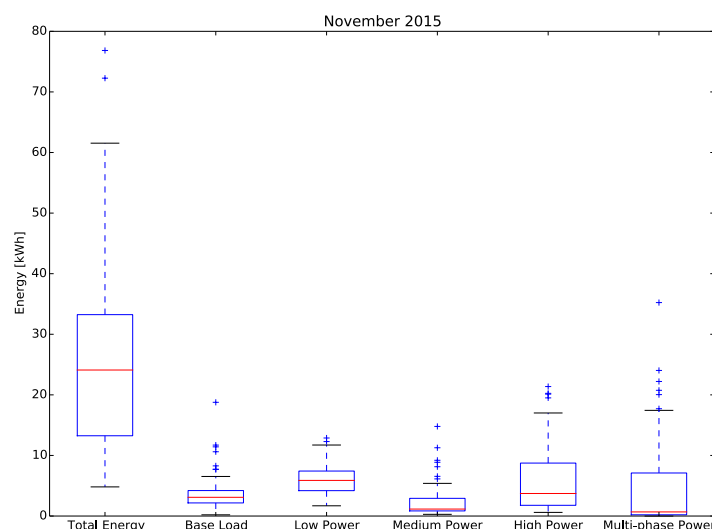


Figure 20 - Dispersion de la répartition des consommations des ménages pilotes dans les bandes de puissances – Mois d'octobre

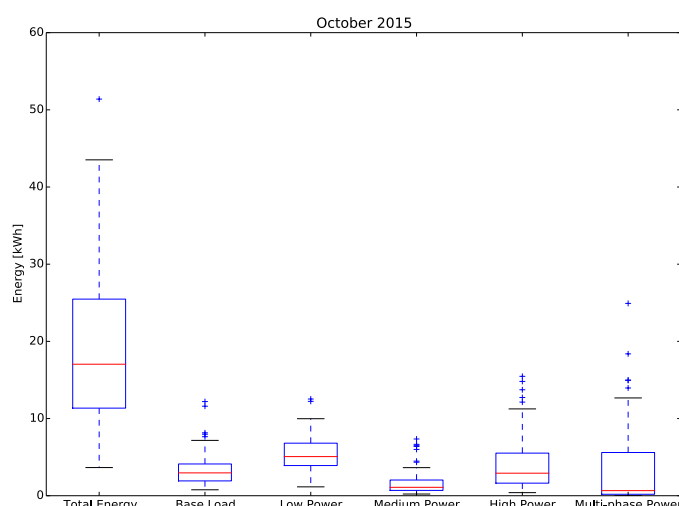


Figure 21 - Dispersion de la répartition des consommations des ménages pilotes dans les bandes de puissances – Mois de novembre

Les figures Figure 20 et Figure 21 sont des boîtes de Tukey montrant la dispersion de l'énergie consommée dans chacune des bandes de puissance pour les ménages du pilote.

Il est intéressant de remarquer que, bien que l'énergie totale consommée au cours d'un mois varie beaucoup entre les ménages, les échantillons d'énergie consommée dans la bande de base au cours des deux mois pris en considération sont relativement invariants et de manière générale bas (moins de 5 kWh pour un mois correspondent à une puissance de moins de 7W continue). Il est donc relativement facile de détecter des comportements gourmands en énergie dans la bande de base si la consommation d'un utilisateur dans cette catégorie dépasse, par exemple, le quartile supérieur. Dans un tel cas, un des premiers conseils à donner à l'utilisateur

serait de traquer les appareils de son ménage allumés en permanence et se poser la question s'il est vraiment utile de les laisser ainsi.

Sur le même principe, un ménage dépassant le quartile supérieur dans la bande des basses puissances se verra proposer de s'intéresser à la consommation de son ou ses appareils de froid ou de ses appareils multimédia/bureautique, car c'est typiquement les appareils présents dans cette bande de puissance.

Concernant les appareils multiphasés, on remarque que la majorité des ménages consomme peu ou pas dans cette catégorie. Il s'agit principalement des boilers électriques, chauffages électriques et pompes à chaleur.

Effet des conseils sur la consommation des ménages

Les figures (Figure 22 et respectivement Figure 23) montrent l'évolution globale de la consommation des ménages au cours du temps de janvier à avril 2016. Le trait rouge représente le moment auquel les conseils ont été mis à disposition des utilisateurs.

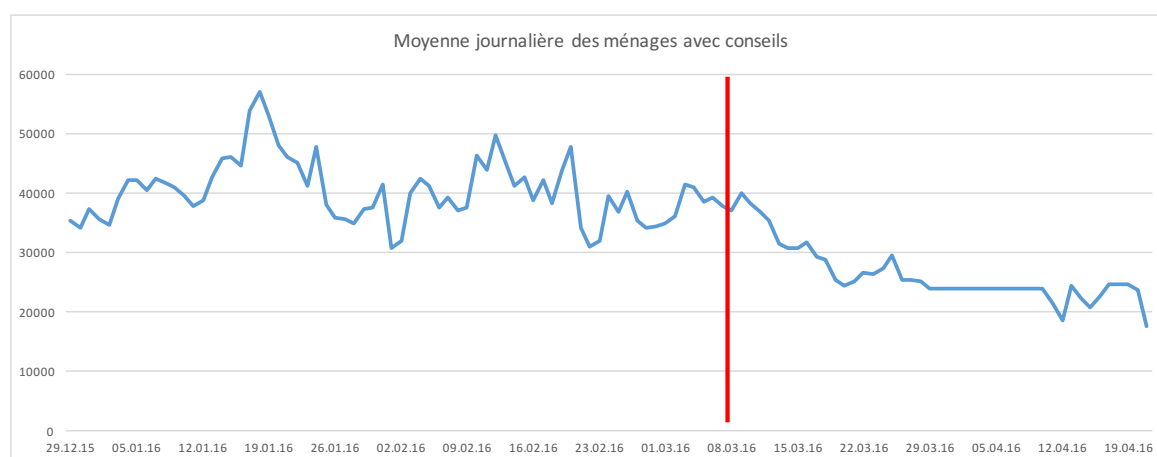


Figure 22 – Evolution de la consommation des ménages ayant reçu les conseils (moyenne)

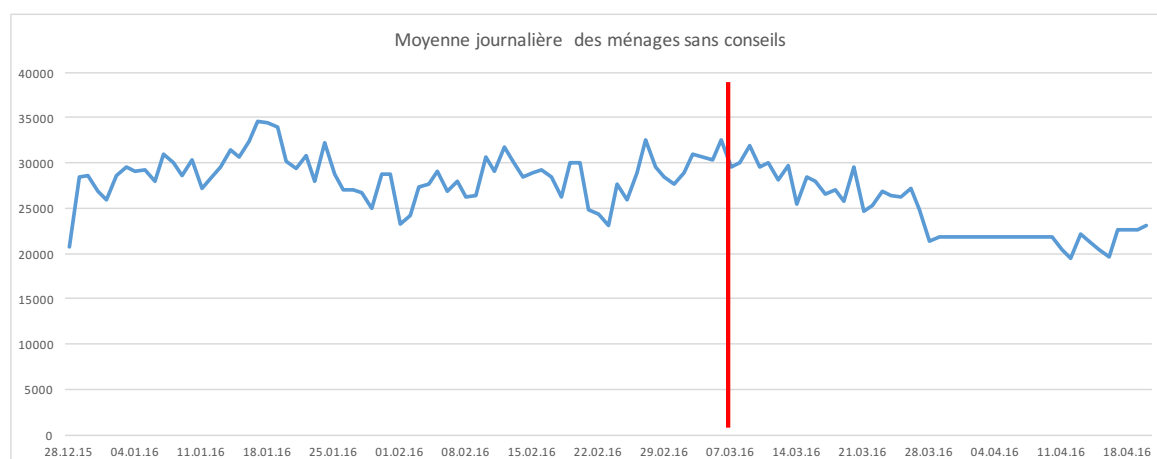


Figure 23 - Evolution de la consommation des ménages n'ayant pas reçu les conseils (moyenne)

On peut remarquer une forte diminution de la consommation globale chez les ménages ayant eu accès aux conseils directement après l'apparition des conseils.

Cependant, dans le même temps, on observe une diminution légère de la consommation globale chez les ménages n'ayant pas reçu de conseils. La diminution de consommation globale étant bien plus marquée avec conseils que sans conseils, on peut en déduire que ces derniers ont une influence positive et engendrent un comportement économe en énergie. Notons toutefois que cette constatation étant observée au mois de mars, lors de changement de conditions météorologiques importants, les comportements de consommation d'énergie des ménages peuvent être influencés également par ces éléments extérieurs. Afin d'éliminer cet effet de saisonnalité des statistiques obtenues, il convient de mesurer la consommation de ménages sur deux périodes identiques, par exemple, deux années consécutives.

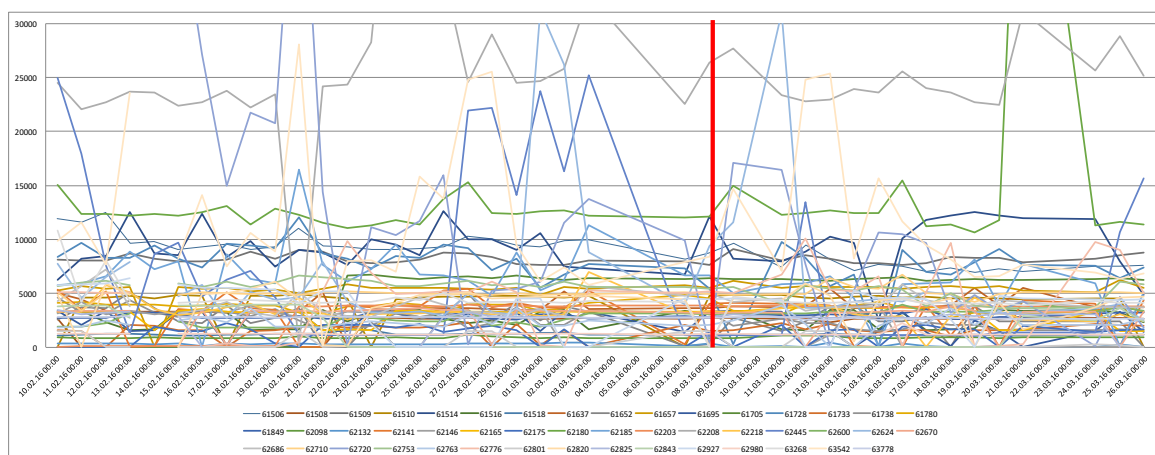


Figure 24 – Evolution au cours du temps de la „bande de base“ des ménages ayant reçu un conseil concernant cette plage de puissance

Nous avons voulu vérifier si les ménages ayant reçu en premier lieu un conseil concernant une bande de puissance spécifique voyaient la consommation de cette bande de puissance en particulier diminuer. La réponse est non, les relevés et résultats des algorithmes de désagrégation montrent que dans la globalité, la consommation des ménages ayant reçu les conseils diminue de manière importante, mais on ne trouve pas de corrélation entre les conseils donnés pour une plage de puissance et la diminution de cette plage de puissance. La Figure 24 illustre cela pour la bande de base (pas de diminution générale de la bande de base après avoir reçu les conseils), mais le résultat est similaire pour les autres plages de puissance. La diminution est bien réelle, mais se fait sur plusieurs plages de puissance.

Cette constatation nous indique que le fait de dispenser des conseils et inciter les utilisateurs à réaliser une action engendre une économie globale allant au delà de l'action elle-même.

Discussion / évaluation des résultats

Avant d'évaluer les résultats obtenus, il convient de mentionner certains événements ayant perturbé la bonne marche du projet.

Le fournisseur des kits de mesures (meter-readers), Current Cost Ltd., devait à l'origine livrer le matériel en décembre 2014. Le délai de livraison a été régulièrement ajourné de semaines en semaines pour arriver à une livraison complète du matériel en juin 2015 seulement, bien que quelques échantillons aient été livrés en mai 2015. Pendant ce délai, GEROCO SA a démarré les activités de R&D en simulant les données en question et débuté la création des interfaces visuelles dans le but de limiter les conséquences du retard.

Suite à ce retard initial, le travail de recherche et développement du partenaire académique HES-SO Valais, concernant les algorithmes de désagrégation, n'a pas pu commencer avant le mois d'août 2015, une fois qu'une quantité raisonnable de données ait été récoltée chez les ménages déjà équipés du kit de mesure.

Fin août 2015, après avoir demandé à Current Cost de corriger certains problèmes de firmware que nous avons détectés au fur et à mesure de l'utilisation des kits de mesure, il est devenu impossible de joindre la société. Nous avons fini par apprendre la faillite de la société en septembre 2015. Nous avons heureusement pu prendre contact avec le fabricant du matériel et entamé une relation commerciale nous permettant d'envisager la correction des erreurs restantes et de commander à nouveau le matériel. Cette situation nous a demandé plusieurs dizaines d'heures de travail supplémentaires et bloqué plusieurs semaines en attente d'une résolution des problèmes.

Ces différents événements n'ont fait que de décaler les délais des différentes étapes du projet, nous poussant à revoir à plusieurs reprises les planning et priorités, consommant les ressources humaines et financières de manière accélérée. L'estimation de la probabilité de réalisation de ces risques ne démontrait pas de raisons particulières d'occurrence en début de projet.

Acquisition des données

Bien que le choix du fournisseur ait été mal évalué d'un point de vue sécurité d'approvisionnement, le choix de la technologie du matériel d'acquisition de la consommation électrique était judicieux. Les critères de coût et de facilité d'installation ont été respectés et la qualité des données récoltées a permis d'atteindre en partie l'objectif de désagrégation.

La qualité des données récoltées est directement liée au type d'acquisition. Il s'agit de relever l'information d'un appareil de mesure (le compteur électrique) et non de mesurer directement la consommation. Avec cette solution, la qualité de la mesure dépend de ce que fournit l'appareil de mesure, ainsi la résolution d'acquisition des données ne peut pas être améliorée par rapport à l'état actuel.

Cependant, le principal problème technique survenu lors du projet, la perturbation des meter-reader se trouvant à proximité les uns des autres, peut encore être résolu par le fabricant moyennant un effort raisonnable (quelques dizaines d'heures).

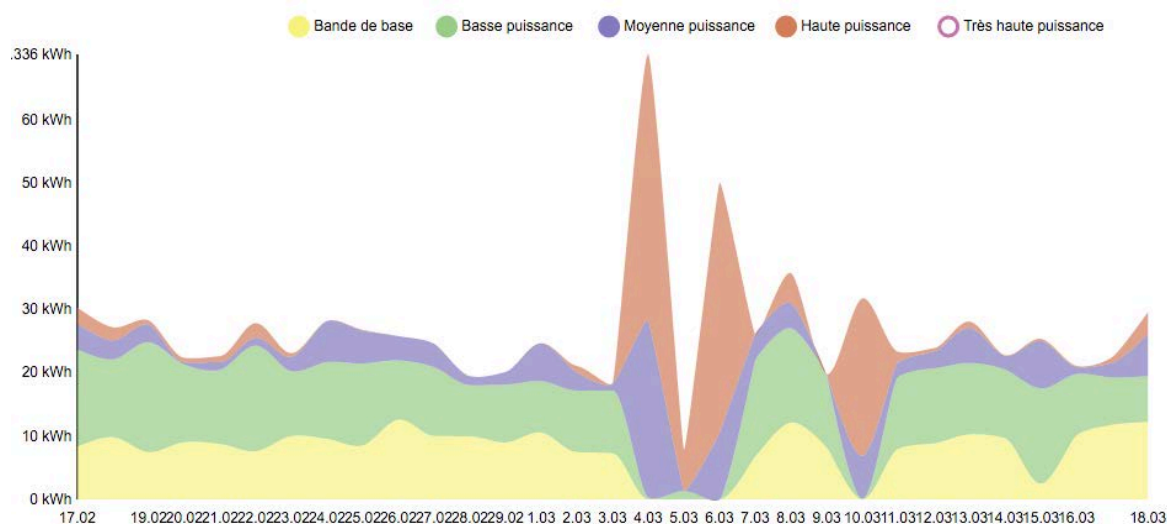
D'autre part, l'effet de lacunes de données survenu en début de projet a été résolu en augmentant les performances du serveur récoltant les données.

Désagrégation

Lors de l'analyse de quelques 120 ménages disponibles, il ressort que les similitudes de comportement de consommation électrique, entre les appareils de différents foyers pour une même catégorie (par exemple différents modèles de machine à laver la vaisselle), sont beaucoup moins marqués que ce qu'il était ressorti lors du projet CTI, basé sur 50 ménages seulement. La forme des patterns de consommation, i.e. la forme de la courbe de charge pour un cycle (de machine à laver par exemple) varie tant entre les modèles que les paramètres définissant ces patterns (temps, puissance, répétition) devraient être si large pour couvrir tous les modèles qu'ils en deviennent imprécis.

L'automatisation de l'algorithme de désagrégation en catégories de consommateurs (usages) est donc bien plus difficile que prévue et n'est d'ailleurs pas complètement terminée à ce jour. En effet, il a été décidé de mettre en œuvre un compromis : la désagrégation par bandes de puissance.

L'algorithme de désagrégation par bande de puissance fonctionne correctement et automatiquement sur les données des ménages pilotes depuis le 8.02.2016.



Cependant, il reste un défaut : certains jours, la bande de puissance « Très haute puissance », contenant les appareils branchés sur plus d'une phase électrique, montre des résultats aberrants. Lorsque ce cas survient, tous les ménages voient leur bande de puissance « Très haute puissance » exagérément haute (plus grande que la consommation totale du jour en question). Ces données erronées occultent complètement les résultats corrects des autres bandes de puissance, comme le montre la Figure 26.

Heureusement, les aberrations sont faciles à détecter et il suffit d'effacer les données calculées pour le jour en question et de faire tourner l'algorithme à nouveau pour que les résultats soient à nouveau corrects.

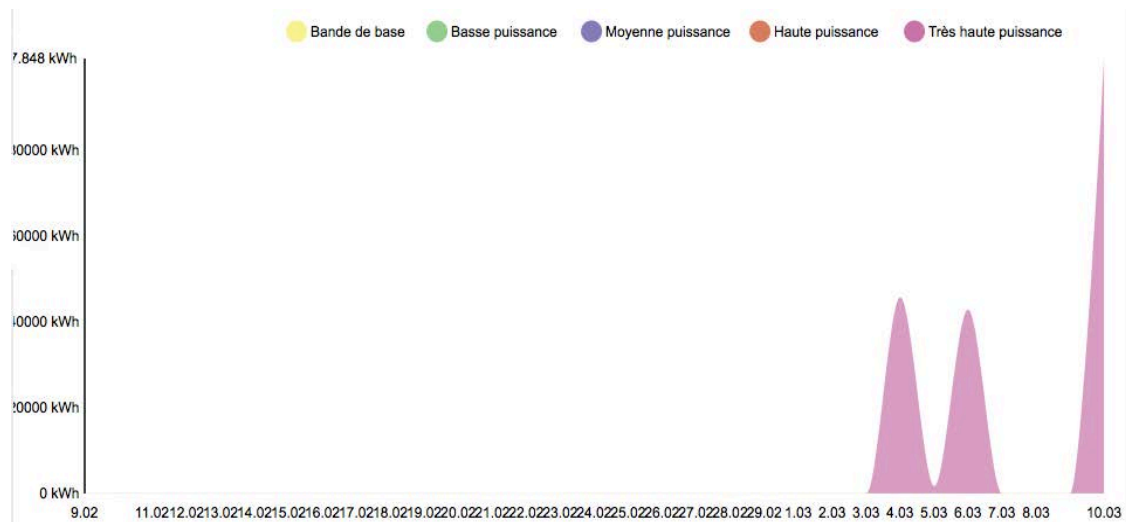


Figure 26 - Désagrégation sur 30 jours contenant des erreurs

Conseils automatisés

Globalement, les ménages ayant reçu l'interface de conseils automatisés ont vu leur consommation générale diminuer à partir de l'apparition des conseils, comme le montre la Figure 22. On peut donc en conclure que les conseils influencent positivement le comportement de consommation des ménages et engendre une diminution de la consommation globale. Il est cependant difficile d'affirmer que cette diminution est exclusivement et directement due au fait que les utilisateurs ont suivi les conseils.

En effet, d'une part, il n'est pas possible d'établir de relation directe entre la dispense d'un conseil concernant une certaine bande de puissance et la diminution de cette bande de puissance en particulier. On ne peut qu'affirmer que la consommation globale diminue et non que c'est la consommation des appareils de la plage de puissance concernée qui a diminué.

D'autre part, les effets potentiels de saisonnalité et de durabilité des comportements économes en énergie n'ont pas été traités lors de ce projet. Si une suite ou un projet similaire devait être mené, il serait intéressant de suivre les consommations des ménages sur trois années complètes, une année sans conseils, et une année avec conseils automatisés suivis et ensuite, une année sans nouveaux conseils. Ainsi, les effets de saisonnalité seraient pris en compte par la mesure de la première année « témoin », et les effets de persistance des comportements seraient étudiés lors de la troisième année de mesures.

Pour résumer

Les objectifs des « Acquisition » et « Désagrégation » ont été en grande partie atteints et laissent entrevoir de belles possibilités de fiabilisations et d'amélioration.

L'objectif « Conseils automatisés » a été atteint, mais le recul relativement faible par rapport au comportement des utilisateurs face aux conseils nous oblige à considérer les résultats avec précaution. Le fait de fournir des conseils aux habitants d'un ménage influence de manière visible leur consommation, mais une étude sur une plus longue durée serait nécessaire afin de mesurer réellement l'impact de chaque conseil sur le comportement des habitants.

Conclusions et perspectives, étapes ultérieures

Acquisition des données de consommation électrique

Bien que comportant encore des défauts, la solution matérielle retenue pour l'acquisition des données de consommation, le meter-reader optique, est facile d'installation par les néophytes et suffisamment bon marché pour un déploiement à large échelle. Les problèmes restant peuvent facilement être corrigés et ainsi obtenir une solution d'acquisition de la consommation électrique fiable, simple et bon marché.

L'objectif de la partie « Acquisition » du projet est donc atteint. L'infrastructure mise en place et le matériel peuvent être utilisés dans le cadre d'une éventuelle suite au projet.

Désagrégation des données de consommation électrique

Les algorithmes de désagrégation fonctionnent de manière fiable et automatique dans une version simplifiée par rapport à la version prévue initialement. En effet, une séparation de la consommation globale en usages tels que « Cuisson », « Machine à laver » ou « Réfrigérateur » n'a pas pu être mise en œuvre de manière automatique. Afin de réaliser une telle discrimination des usages¹⁷, il est encore nécessaire que la courbe de charge soit analysée par un expert au moins une fois afin de déterminer certains paramètres spécifiques à chaque ménage. Une fois ces paramètres déterminés, une désagrégation automatique peut être appliquée tant que les appareils du ménage ne sont pas remplacés. Du fait de la nécessité d'une analyse par un expert, la désagrégation par usage à large échelle est onéreuse (temps d'analyse) et peu fiable (car invalidée si un appareil du ménage change). Cette opération ne nécessite toutefois pas de déplacement physique chez les ménages, ce qui limite les coûts identifiés dans le premier projet CTI.

Malgré cela, une désagrégation plus simple, par bandes de puissance, a été mise en œuvre et fonctionne de manière automatique quel que soit le ménage. Cette désagrégation par bandes de puissance consiste à déterminer quelle part de la consommation a été consommée par les appareils ayant une puissance située entre X et Y Watts. Ainsi, la consommation globale d'un ménage a été répartie en quatre bande de puissance¹⁸ auxquelles s'ajoute une catégorie spéciale appelée la « Bande de base » accumulant toute l'énergie des appareils étant constamment en fonction.

Bien que moins précise en terme de discrimination des usages de l'énergie électrique, cette méthode de désagrégation permet tout de même d'extraire des informations intéressantes quant au comportement de consommation énergétique des ménages et des conseils peuvent être triés par ordre de pertinence en fonction de ces résultats.

De plus, des solutions permettant de mettre en place une interface de calibrage des algorithmes par les utilisateurs eux-mêmes ont été imaginées, afin d'éviter l'analyse d'un expert. Dans ce cas, l'utilisateur du système devrait répondre à une série de questions lui demandant si tel appareil a été en fonction à un certain moment afin de déterminer si un profil de consommation provient, par exemple, d'une machine à laver ou d'une plaque de cuisson.

¹⁷ Types d'appareils.

¹⁸ 0-250W, 251-750W, 751-2500W et 2501W et plus.

L'objectif de la partie « Désagrégation » du projet est donc en grande partie atteint, malgré la difficulté du sujet.

Conseils personnalisés automatiques

Une interface permettant de dispenser et assurer un suivi de conseils visant à diminuer la consommation d'énergie électrique du foyer a été mise en place. Lesdits conseils sont proposés à l'utilisateur par ordre de potentiel d'économie réalisable en suivant le conseil. Le potentiel d'économie étant calculé automatiquement en fonction des résultats de la désagrégation de la consommation du ménage, on peut considérer que l'ordre dans lequel les conseils sont proposés est pertinent et personnalisé.

Outre le fait que les conseils soient proposés de manière personnalisée, l'interface développée comporte, d'une part, l'avantage de présenter les conseils sous forme de petites actions concrètes à réaliser, invitant l'utilisateur à s'imprégner d'un comportement économe en énergie de manière graduelle et persistante. D'autre part, une estimation des économies réalisées depuis le commencement de l'utilisation de la plateforme permet d'ajouter une motivation supplémentaire pour les utilisateurs.

Bien que la fin du projet ait été repoussée de plusieurs mois, le recul relativement court que nous avons face à la réaction des utilisateurs suite aux conseils dispensés nous incite à regarder avec précaution les résultats de l'étude quant à l'efficacité des conseils. Pour les mêmes raisons, la persistance des comportements économe en énergie n'a pas pu être évaluée.

L'objectif de la partie « Conseils automatiques » du projet est donc partiellement atteint, puisque l'interface permettant de dispenser les conseils a été réalisée, mais les conclusions quant à l'efficacité de ces conseils méritent une étude plus approfondie afin de déterminer, d'une part, si les conseils sont efficaces dans tous les cas, et d'autre part, si les comportements économes en énergie électrique sont durables dans le temps.

Suite du projet

Pour la suite à donner au projet, il est souhaitable d'améliorer les algorithmes de désagrégation en laissant à l'utilisateur la possibilité de réaliser une phase de calibrage qui permettra de détecter les usages de l'énergie électrique (types d'appareils) au lieu des bandes de puissances comme c'est le cas actuellement.

D'autre part, un effort relativement faible (quelques dizaines d'heures de travail) est à faire afin de stabiliser le micrologiciel présent dans le matériel d'acquisition de la consommation électrique (meter-reader) afin de le fiabiliser. Il est également important que la majorité des ménages puissent avoir accès à la plateforme, pour cela, il doit devenir possible de prendre en compte les compteurs d'électricité mécaniques, encore largement répandus en Suisse. La résolution nécessaire de 1Wh nécessaire à la désagrégation ne serait pas possible avec de tels compteurs, mais l'interface de conseils pourrait être adaptée afin de fournir des conseils en fonction de la consommation globale uniquement.

Finalement, une étude prenant en compte les facteurs de persistance des comportements économes en énergie ainsi que la saisonnalité des comportements de consommation d'énergie devrait être réalisée sur une durée d'au moins deux ans.

Perspectives commerciales

Lorsque les améliorations techniques auront été apportées, la mise sur le marché de la technologie APEAS pourra se faire par l'un ou plusieurs des partenaires industriels.

Ainsi, GROUPELEC envisage de faire évoluer son offre « Mon Energie » qui possède déjà une application mobile fournissant à ses utilisateurs ses données de consommation quotidiennes.

APEAS sera la suite logique et permettra d'étoffer l'offre en cours et de toucher plus de personnes.

Pour GEROCO SA, APEAS est une opportunité de développement auprès des distributeurs d'énergie nationaux mais aussi internationaux. Ainsi, le groupe ENEL, par exemple, est intéressé à tester la technologie APEAS sur la base des données récoltées par leurs smart-meters.

En effet, à l'heure actuelle seul les meter-readers sont capables de nous fournir des données à une résolution optimale pour faire fonctionner les algorithmes mais ceux-ci coutent tout de même plus d'une centaine de francs pièce et sont donc un facteur limitant pour la pénétration du marché.

Les fournisseurs déployant des smart-meters pourraient donc offrir un service à valeur ajoutée à travers APEAS sans pour autant investir sur du matériel physique supplémentaire chez leurs clients.

Ainsi, potentiellement, chaque client possédant un smart-meter pourrait devenir, dans le futur, un utilisateur de la technologie APEAS qui serait alors fournie en OEM.

Références

Ferrez, P., & Roduit, P. (2013) : *Non-Intrusive Appliance Load Curve Disaggregation for Service Development*. Institute of Systems Engineering. Sion: University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland.

Nussbaum E. (2014) : *Conseils Energétiques aux Ménages*. Institut de Systèmes Industriels à l'HES-SO Valais

El Guedri M. (2010): *Caractérisation aveugle de la courbe de charge électrique : Détection, classification et estimation des usages dans les secteurs résidentiel et tertiaire* . Paris : ÉCOLE DOCTORALE «SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION, DES TÉLÉCOMMUNICATIONS ET DES SYSTÈMES »

Table des figures

Figure 1 - Répartition des consommations d'énergie électrique dans les différent secteurs (Statistiques suisses de l'électricité 2014, OFEN)	5
Figure 2 - Questionnaire de satisfaction aux ménages pilotes du projet CTI	6
Figure 3 - Questionnaire de satisfaction concernant les actions entreprises suite aux conseils	7
Figure 4 - Lecteur d'impulsion Current Cost se fixant sur un compteur électrique	8
Figure 5 - Exemple de désagrégation de l'énergie consommée par un foyer	9
Figure 6 - Exemple d'action proposée aux ménages	9
Figure 7 - Schema global de Generation des économies	10
Figure 8 - Résultat de la désagrégation journalière d'un ménage	12
Figure 9 - Courbe de charge sur un jour, les paires d'évènements sont en couleur par dessus la courbe de charge	12
Figure 10 - Identification des paires d'évènements	13
Figure 12 – Cheminement des données	15
Figure 13 - Exemple d'une consommation horaire durant un jour	16
Figure 14 - Courbe de charge projet CTI	17
Figure 15 - Courbe de charge avec lecteur d'impulsions	17
Figure 16 - Reconstitution de la courbe de puissance à partir de l'index de consommation	18
Figure 17 - Courbe en puissance filtrée	18
Figure 18 - Désagrégation mois de septembre Ménage 1	20
Figure 19 - Désagrégation mois de septembre Ménage 2	20
Figure 20 – Interface de conseils automatisés	23
Figure 21 - Dispersion de la répartition des consommations des ménages pilotes dans les bandes de puissances – Mois d'octobre	26
Figure 22 - Dispersion de la répartition des consommations des ménages pilotes dans les bandes de puissances – Mois de novembre	26
Figure 23 – Evolution de la consommation des ménages ayant reçu les conseils (moyenne)	27
Figure 24 - Evolution de la consommation des ménages n'ayant pas reçu les conseils (moyenne)	27
Figure 25 – Evolution au cours du temps de la „bande de base“ des ménages ayant reçu un conseil concernant cette plage de puissance	28
Figure 23 - Désagrégation typique sur 30 jours	30
Figure 24 - Désagrégation sur 30 jours contenant des erreurs	31

Annexes - Projet APEAS

(Démonstration grandeur nature de la solution « APEAS » :
Automatic Personal Energy Advicing System)

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Technologies et utilisations de l'électricité
CH-3003 Berne
www.ofen.admin.ch

Cofinancement:

The Ark Energy, CH-1950 Sion

Mandataire:

GEROCO SA
Rue Marconi 19
CH-1920 Martigny
(coordination de projet)

GROUPELEC par SEIC SA
Grand Rue 2
CH-1904 Vernayaz

Romande Energie Commerce SA
Rue de Lausanne 53
CH-1110 Morges

HES-SO Valais
Route du Rawyl 47
CH-1950 Sion

Auteurs:

Eric Nussbaum, Geroco SA, eric.nussbaum@geroco.ch

Responsable de domaine de l'OFEN:

Dr. Michael Moser

Chef du programme de l'OFEN:

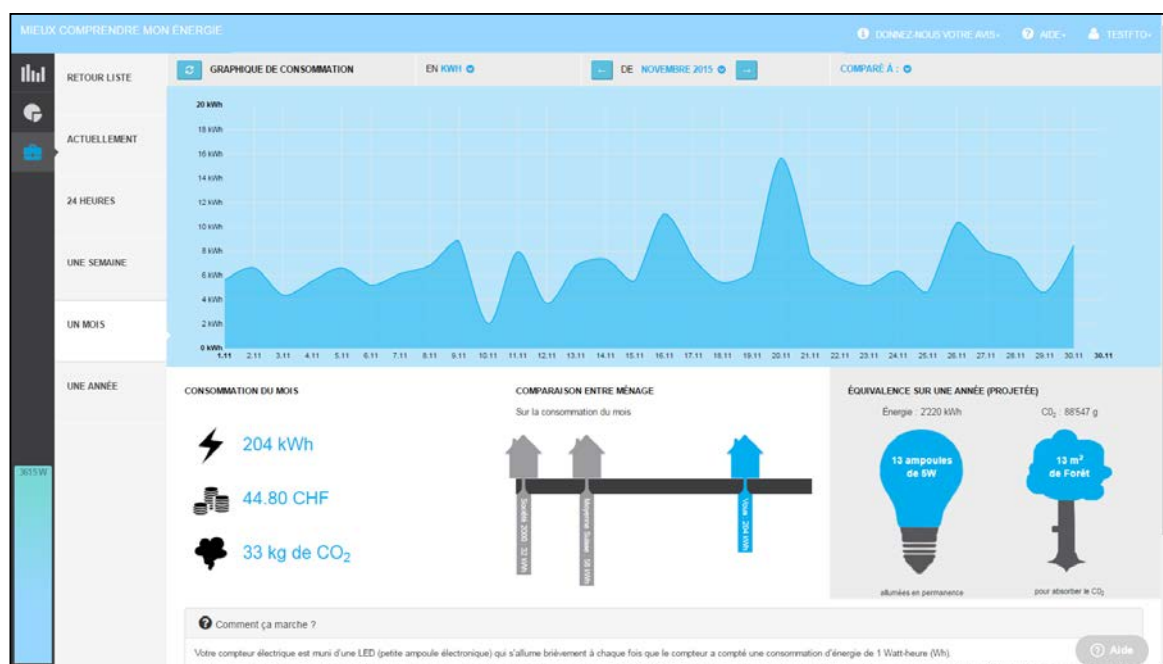
Roland Brüniger

Numéro du contrat de l'OFEN:

SI/501074-01

Le ou les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.

Annexe 1.1 : Graphique d'historique de consommation

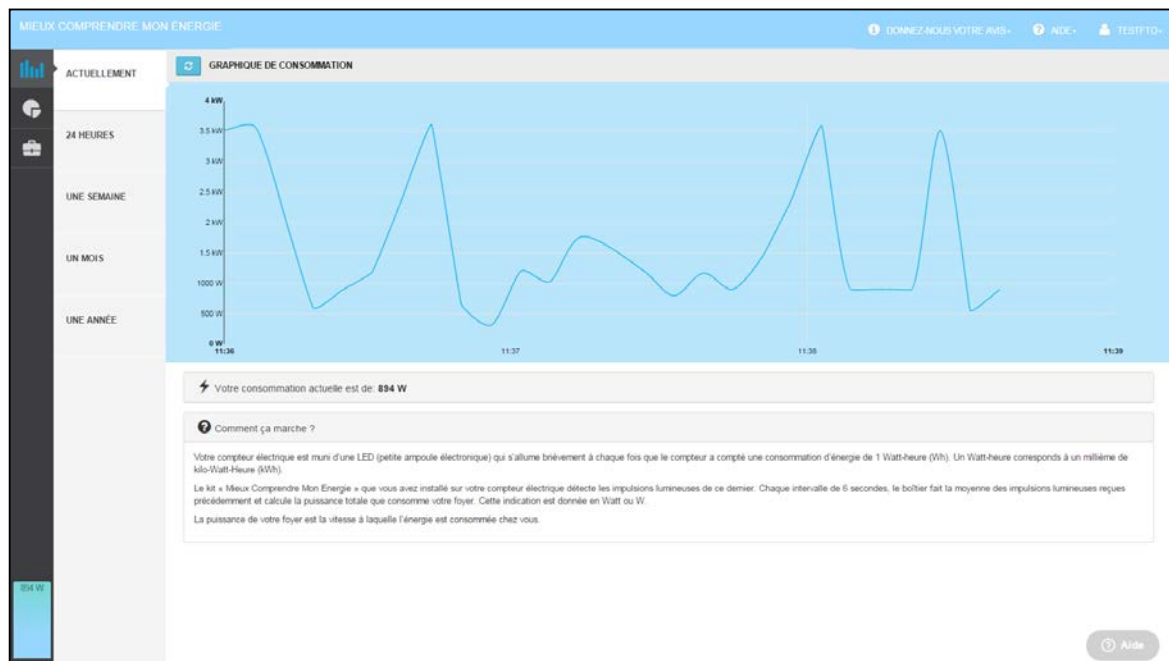


L'interface web permet la visualisation de l'historique de consommation totale durant un jour en particulier, une semaine, un mois ou une année complète.

Des modules complémentaires indiquent :

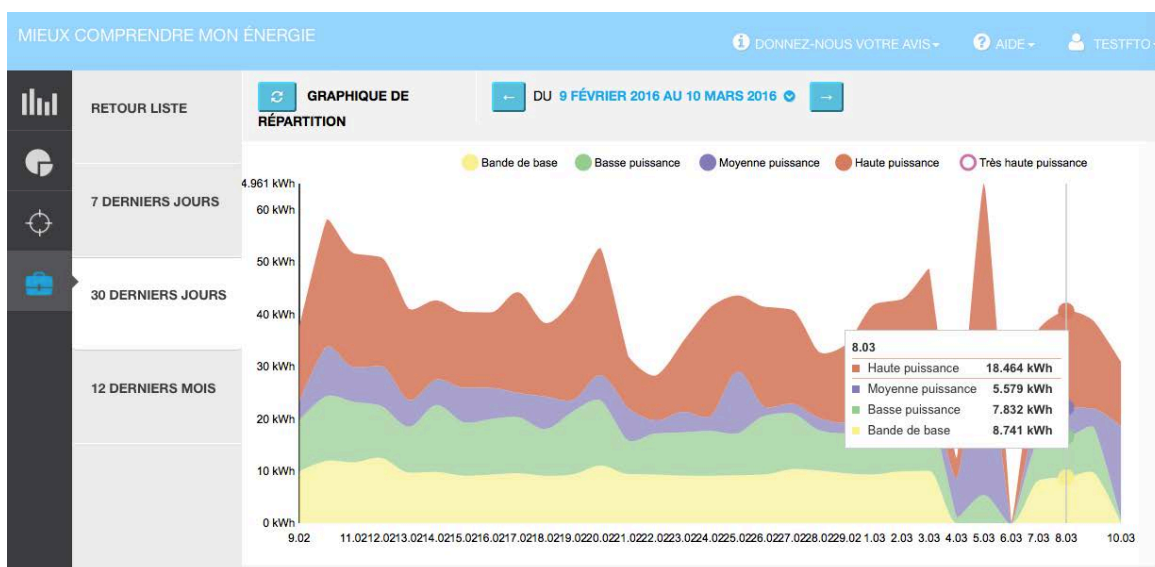
- La consommation totale de la période affichée sur le graphique
- Une comparaison du ménage par rapport à la consommation moyenne suisse et par rapport à la consommation idéale d'un ménage suivant la référence de société à 2000 W
- Ce que représente l'énergie annuelle consommée du ménage si des ampoules basse consommation étaient allumées en permanence
- Le nombre de mètres carrés de forêt nécessaire pour absorber le CO₂ généré par la consommation électrique du ménage

Annexe 1.2 : Graphique de consommation en temps-réel



L'interface web permet de visualiser la consommation instantanée du ménage. L'utilisateur peut ainsi voir en direct l'influence de l'enclenchement d'un appareil sur sa consommation globale.

Annexe 2 : Graphiques de désagrégation hebdomadaire



La désagrégation par bande de puissance permet de voir en un coup d'œil la répartition de la consommation dans les différentes bandes de puissance.