Analyse automatique des courbes de charge d'un ménage

Autor(en): **Roduit, Pierre / Ballestraz, Philippe**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **103 (2012)**

Heft (10)

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857356

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Analyse automatique des courbes de charge d'un ménage

Identification des principales sources de consommation

Le contexte de ces dernières années a poussé les ménages suisses à se sentir de plus en plus concernés par leur consommation d'électricité. Il reste cependant difficile pour eux d'identifier les principales sources de consommation à partir de leur facture. Afin de les aider dans cette démarche, la HES-SO VS a développé une méthode basée sur la mesure agrégée par phase de la consommation d'un ménage et sur l'analyse automatique de ces courbes de charge.

Pierre Roduit, Philippe Ballestraz

La réduction de la consommation électrique des ménages est un sujet d'actualité. Afin de soutenir les particuliers dans cette entreprise, de nombreuses aides leur sont fournies : sites de conseil, articles de journaux de consommateurs décrivant les actions à envisager, etc. En outre, un service très actuel consiste en l'affichage de la puissance consommée mesurée par un compteur intelligent (smart meter). Au final, le consommateur se retrouve submergé par une quantité d'informations souvent difficile à appréhender.

Même si plusieurs études ont montré que le simple affichage de la consommation d'un ménage permet de réduire cette dernière de 5 à 15 % [1], une analyse détaillée complétée par des conseils personnalisés s'avérera encore plus efficace. Pour y contribuer, la HES-SO VS (Haute Ecole Spécialisée de Suisse occidentale du Valais) développe plusieurs méthodes d'analyse permettant d'identifier les principales sources de consommation d'un ménage.

Analyse de la consommation

Pour dresser le profil de la consommation électrique d'un foyer, plusieurs approches sont envisageables. La première alternative consiste à identifier à l'aide d'un wattmètre les installations les plus gourmandes en électricité (réfrigérateur, cuisinière, éclairage, etc.) jusqu'à ce que le total de la consommation corresponde approximativement aux indications du compteur ou de la facture. En plus d'être laborieuse pour le client, cette façon de procéder demande une certaine expertise et le résultat n'est que ponctuel et pourrait devenir caduc en cas de dérangement d'un appareil ou d'achat de matériel. A noter que des produits tels qu'Ecowizz [2] rendent cette démarche plus aisée pour la grande majorité des personnes, étant plus simples à utiliser qu'un wattmètre et un site Internet fournissant quelques conseils en supplément.

Une autre approche est basée sur l'Internet des objets (Web of Things) : elle consiste à intégrer un capteur dans chacun des appareils, à en mesurer la consommation et à les connecter à Internet afin de pouvoir interagir en permanence avec eux et les interroger sur leur consommation. Même si cette méthode est prometteuse pour l'avenir, elle reste cependant coûteuse à mettre en place. De plus, en raison de la difficulté à la mettre en pratique pour tous les appareils, y compris pour ceux que les usagers possèdent déjà, il subsiste un risque qu'une part de la consommation ne soit pas mesurée.

Afin de pallier à ces difficultés, la HES-SO VS a opté pour une approche basée sur la mesure agrégée par phase de la consommation d'un ménage et sur l'analyse automatique de ces courbes de charge.

Acquisition des données

La première étape a consisté à obtenir les courbes de charge des ménages à étudier. Après avoir tenté à plusieurs reprises de travailler avec des données acquises à l'aide de compteurs intelligents (smart meters), une autre solution a dû être trouvée : la limitation temporelle de ces appareils (une mesure par quart d'heure environ) et le manque de précision des valeurs fournies (précision de 10 Wh) ont fait obstacle à l'exploitation pertinente des données.

Un nouveau système a donc été mis en place afin d'obtenir des courbes de charge des ménages de meilleure qualité. Le PM810 de la firme Schneider Electric permet de mesurer le courant et la tension sur les trois phases et de sauvegarder pour chacune d'elles diverses valeurs (courant, tension, puissance active et réactive, etc.) à une fréquence d'environ 1 Hz. Un tel appareil de mesure couplé à

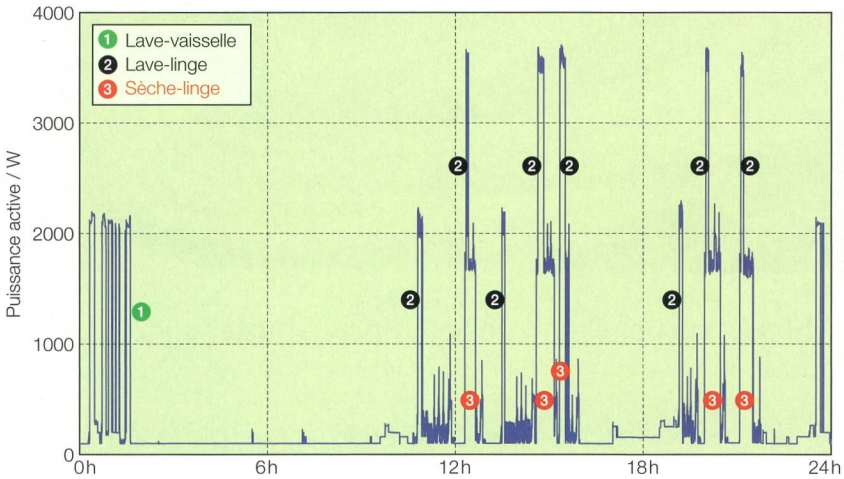

Figure 1 Mesure de la puissance consommée par un des ménages considérés pendant 24 h.

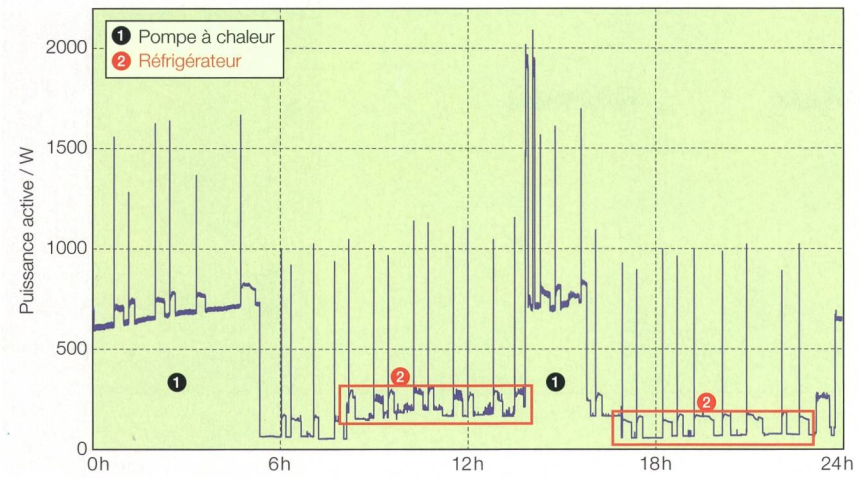

Figure 2 Mesure de la puissance consommée par un second ménage pendant 24 h.

un système d'acquisition de données a été installé pour une durée indéterminée dans six ménages et a déjà fourni plusieurs mois de données.

Analyse visuelle

La figure 1 montre la courbe de charge d'une phase d'un ménage pendant 24 h. Grâce à la précision de la mesure, plusieurs gros consommateurs peuvent être identifiés. Par exemple, les cycles des machines à laver la vaisselle et le linge sont composés d'étapes de chauffage de l'eau à l'aide d'un corps de chauffe, identifiables en raison de la puissance consommée d'environ 2 kW. De plus, il est possible de distinguer ces deux appareils : le lave-vaisselle a plusieurs courtes étapes de chauffage de l'eau alors que le lave-linge possède une phase de chauffe plus longue, accompagnée et suivie par la rotation du tambour qui produit cette consommation très oscillante. La température de lavage peut même être corrélée avec la durée de chauffage de l'eau. Enfin, le sèche-linge se distingue par sa puissance inférieure et sa durée de chauffage prolongée.

La figure 2 représente la courbe de charge d'un deuxième ménage. On peut y reconnaître une pompe à chaleur grâce à sa consommation importante et légèrement variable pendant une longue durée. Un appareil de chaîne du froid (congélateur ou réfrigérateur) est aussi aisément reconnaissable de par sa consommation quasi-périodique (quelques fois par heure) et sa puissance limitée (environ 100 W).

En observant les courbes de charge des figures 1 et 2, il est possible de remarquer qu'à aucun moment la puissance consommée n'a été nulle. Chacun des ménages utilise une quantité minimale de courant électrique en permanence, pouvant s'élever à plusieurs centaines de watts pour certains des ménages mesurés. Ceci correspond essentiellement à l'électronique consommant en continu (WiFi, modem, décodeurs, transformateurs de moindre qualité, etc.). A noter que pour les ménages analysés, la part de la consommation continue due aux appareils en stand-by (téléviseur, chaîne stéréo, etc.) était quasi négligeable.

Algorithmes de reconnaissance d'appareils

Sur la base des données acquises, un long travail a été effectué en collaboration avec des instituts tels que le CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique) afin de développer des algorithmes capables d'identifier automatiquement les principaux consommateurs d'un ménage. Seuls les premiers pas ont été réalisés et il reste encore beaucoup de travail à effectuer avant de pouvoir garantir la performance et la stabilité de la classification, mais ceux-ci sont déjà prometteurs.

Consommation minimale en continu

Un premier algorithme a été développé pour extraire la « bande de base », c'est-à-dire la consommation minimale en continu. Une technique un peu plus évoluée que la recherche du minimum de la journée a été mise au point pour la déterminer tout en s'affranchissant des problèmes de coupures de courant et d'erreurs de mesure. La valeur ainsi obtenue s'élève à 65 W et est représentée en vert en surimpression sur la courbe de charge de la figure 3.

Appareils réfrigérants

En se basant sur des critères statistiques de la variation de la puissance consommée par les appareils réfrigérants et du temps entre deux allumages, un haut taux d'identification peut être atteint. La puissance consommée qui a pu leur être attribuée est illustrée en rouge sur la courbe de charge de la figure 3. Elle correspond à une consommation du combiné réfrigérateur-congélateur considéré d'environ 300 Wh pour la journée. A noter que l'algorithme est stable, même si les oscillations d'une machine à laver vers 6 h du matin ont clairement provoqué deux erreurs d'identification.

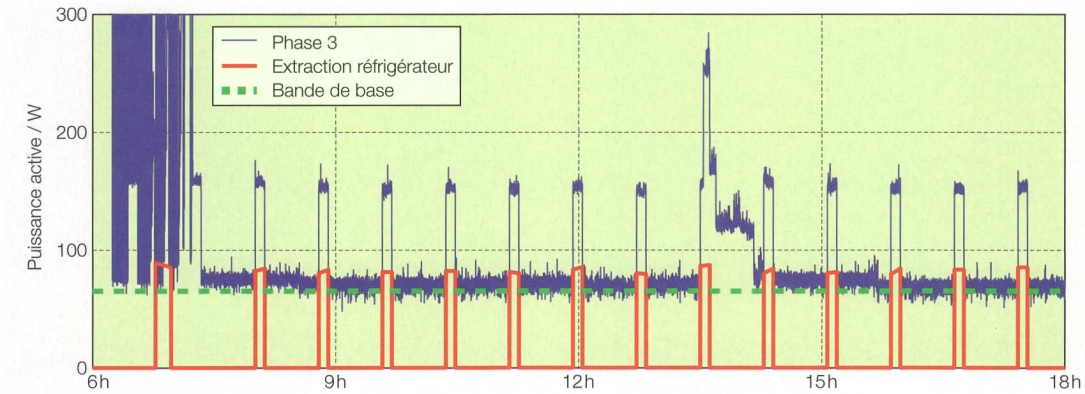

Figure 3 Affichage de la reconnaissance automatique de la bande de base et de la puissance consommée par le réfrigérateur.

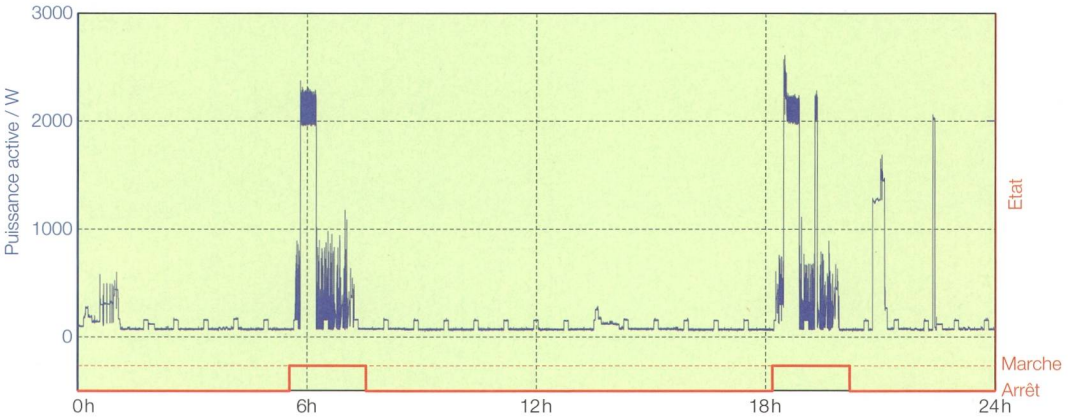

Figure 4 Affichage de la reconnaissance automatique des périodes de fonctionnement du lave-linge.

Lave-linge

Un troisième algorithme a été développé afin d'identifier le lave-linge. Il se base entre autres sur la fréquence des agitations du tambour. La figure 4 permet d'observer les performances de l'algorithme pour identifier les moments durant lesquels une machine à laver est en fonctionnement. A noter que la figure 3 est un agrandissement d'une partie de la courbe de charge affichée dans cette dernière figure.

Pompe à chaleur

Pour finir, le dernier algorithme permet d'identifier les pompes à chaleur. En se basant sur des critères tels que la puissance, la durée d'utilisation et l'utilisation des trois phases, une reconnaissance efficace est possible. La figure 5 présente les résultats de cet algorithme. Dans cet exemple, la reconnaissance des périodes d'allumage est quasi parfaite. Il est cependant clair que des erreurs peuvent subvenir si des appareils triphasés ayant un comportement proche d'une pompe à chaleur sont enclenchés. Plusieurs idées doivent encore être mises en pratique afin d'améliorer la qualité de la reconnaissance, par exemple en utilisant les horaires d'enclenchement.

La validation de ces algorithmes a été faite visuellement pour l'instant. Une collecte de données désagrégées est en cours. Posséder la courbe de charge des principaux consommateurs des ménages en plus de la courbe de charge agrégée facilitera et améliorera l'évaluation et la comparaison des algorithmes.

Classification basée sur la puissance active et réactive

Les méthodes présentées jusqu'ici ont été développées pour détecter des appareils particuliers. Une approche plus généraliste a aussi été testée. Elle se base sur les événements d'allumage et d'extinction des appareils. Après un filtrage, les événements d'augmentation (allumage d'un appareil) et de réduction (extinction d'un appareil) de la puissance consommée sont tout d'abord appairés en fonction de leur séparation dans le temps et de la puissance, puis classifiés selon les valeurs des variations de puissances active et réactive qu'ils induisent.

La figure 6 présente dix jours de données dont les événements d'allumage et d'extinction ont été affichés en fonction des variations de puissances active et réactive qu'ils provoquent. A noter que les valeurs des extinctions ont été inversées afin de regrouper les allumages et les extinctions dans le domaine positif de la puissance active. Dans ce domaine, des catégories d'éléments peuvent être regroupées et identifiées, telles que les corps de chauffe des machines à laver le linge et la vaisselle caractérisés par une puissance consommée purement active d'environ 2 kW. De même, on peut reconnaître le moteur du compresseur de la pompe à chaleur par une puissance active et réactive consommée d'environ 600 W (respectivement VAr). Concernant les réfrigérateurs, les points sont identifiables en raison du nombre élevé d'événements et de la faible puissance consommée. Ils se mélangent cependant avec d'autres appareils, tels que le moteur du tambour du lave-linge.

Conclusions

Cet article a pour but de fournir une introduction à l'analyse de la courbe de charge de ménages. Les résultats présentés sont exploratoires et il s'agira par la suite d'apprendre à détecter les grands consommateurs avec une plus grande fiabilité. Les algorithmes ne sont pas encore parfaits, mais l'ensemble de ces

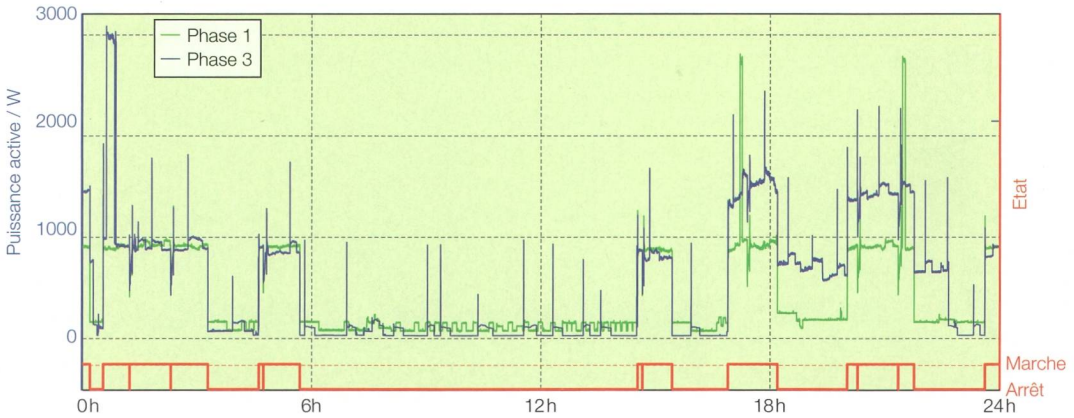

Figure 5 Affichage de la reconnaissance automatique des périodes de fonctionnement de la pompe à chaleur.

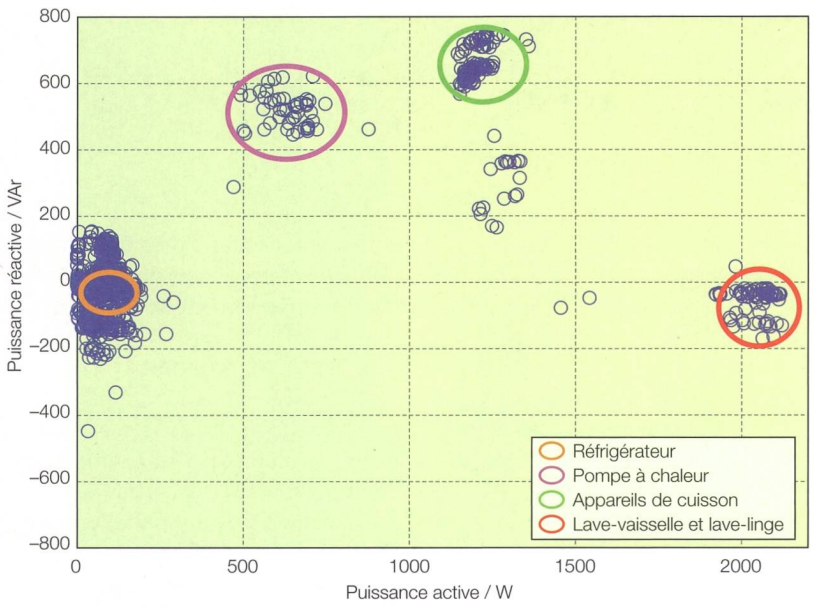

Figure 6 Affichage des événements d'allumage et d'extinction des appareils en fonction de la variation des puissances active et réactive qui en résulte.

Figures: HES-SO VS

résultats laisse déjà transparaître des possibilités d'amélioration intéressantes.

Il est clair que tous les appareils branchés ne peuvent pas être identifiés uniquement à l'aide d'une courbe de charge. Par exemple, les appareils consommant en permanence (bande de base) s'additionnent et, de ce fait, il est impossible de déterminer leur nombre et leur catégorie. La connaissance de cette valeur de puissance utilisée en permanence reste cependant intéressante pour le client qui veut économiser, la plupart des appareils consommant en continu ne lui étant certainement pas nécessaire 24 h/24.

Etre capable de connaître les principaux consommateurs d'un ménage ne constitue qu'un des pas à effectuer pour pouvoir générer des conseils automatisés. Mettre en lien les actions d'économie possibles avec la valeur de la consommation des différents secteurs du ménage (chaîne du froid, cuisson, éclairage, etc.) est une tâche importante qui devra être abordée en profondeur. Mais les premiers résultats tendent à montrer que cette démarche est réaliste. Un autre aspect important de développement sera la validation des méthodes d'analyse sur un grand nombre de ménages afin de vérifier la pertinence de l'analyse et des conseils.

Une mesure précise, telle que présentée dans cet article, soulève aussi la problématique de la protection des données. Les événements identifiés ne sont certes pas très sensibles – l'analyse de la courbe de charge ne permet pas de reconnaître le film que regarde le client ou le plat qu'il cuisine –, mais elle peut révéler quand les personnes font leur lessive et si elles sont en vacances. Des informations de ce type ne doivent clairement pas tomber entre toutes les mains, même s'il faut reconnaître qu'elles sont nettement moins sensibles que celles que la plupart d'entre nous laissons quotidiennement sur Internet. Une solution évidente à ce problème serait de conserver les données au domicile de la personne, par exemple en connectant au système de mesure un boîtier d'analyse, propriété du client, sans rapatrier ces données chez le fournisseur d'électricité.

Pour conclure, cette recherche permet d'envisager des solutions techniques proposant un aperçu bien plus précis des détails de la consommation électrique des ménages. Ceci est utile autant pour le consommateur qui peut comprendre sa consommation et donc l'optimiser, que pour les fournisseurs qui peuvent mieux appréhender les besoins énergétiques de leurs clients. Cette technologie ouvre donc la porte à de nombreux services. Étant donné que les compteurs intelligents peuvent technologiquement fournir la précision nécessaire à cette analyse, même si des modifications sont requises, ces services pourraient être mis en place à moindre frais pour le client sans nécessiter d'autres appareils de mesure.

Zusammenfassung **Automatische Analyse der Lastkurven eines Haushalts**

Identifizierung der wichtigsten Verbrauchsquellen

Die CO_2-Situation motiviert viele Schweizer Haushalte dazu, immer mehr auf ihren Stromverbrauch zu achten. Allerdings sind sie nicht in der Lage, die wichtigsten Stromverbrauchsquellen anhand ihrer Stromrechnung zu identifizieren. Um ihnen dies zu ermöglichen, hat HES-SO VS eine Methode entwickelt, die auf der aggregierten Messung nach Verbrauchsphasen eines Haushalts basiert sowie auf der automatischen Analyse dieser Lastkurven.

Hierzu wurden die Verbrauchsdaten einmal pro Sekunde gesammelt und anschliessend die Lastkurven visuell analysiert, um die wichtigsten Verbrauchsquellen zu identifizieren. Auf der Grundlage dieser Beobachtungen wurden mehrere Algorithmen entwickelt, welche die automatische Erkennung der Stromverbrauchsquellen ermöglichen (Waschmaschine, Wärmepumpe, Kühlgeräte usw.). Darüber hinaus wurde ein zweiter, allgemeinerer Ansatz untersucht, der auf den aktiven und reaktiven Leistungsschwankungen beim Ein- und Ausschalten der Verbrauchsgeräte basiert. Auch wenn noch weitere Verbesserungen erforderlich sind, um eine höhere Zuverlässigkeit zu erhalten, so sind die ersten Ergebnisse dieser Studie dennoch sehr vielversprechend. CHe

Références

[1] J. Borstein and K. Blackmore: In-Home Display Units: An Evolving Market, Part 1. IDC Company, March 2008. www.marketresearch.com/IDC-v2477/Home-Display-Units-Evolving-Part-1801019/.

[2] www.ecowizz.net.

Informations sur les auteurs

Prof. Dr **Pierre Roduit** a obtenu son diplôme d'ingénieur EPFL en microtechnique en 2003. Après avoir travaillé plusieurs années dans le domaine de l'optimisation de procédés industriels, il a effectué une thèse sur l'analyse de trajectoires de robots mobiles à l'EPFL. Depuis 2009, il est professeur d'informatique à l'Institut Systèmes industriels de la HES-SO VS. Ses domaines de recherche sont l'analyse de données, la vision et le « machine learning ».

HES-SO VS, 1950 Sion, pierre.roduit@hevs.ch.

Philippe Ballestraz est ingénieur HES en télécommunications. Il a obtenu son Bachelor de l'Ecole d'ingénieurs de Fribourg en 2009, ainsi que le prix SIA (Société des ingénieurs et architectes) pour son travail de diplôme réalisé au Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA. Il collabore actuellement à divers projets dans le domaine du traitement du signal et plus particulièrement à ceux touchant à l'analyse de courbes de charge.

HES-SO VS, 1950 Sion, philippe.ballestraz@master.hes-so.ch