

Prévision de la consommation d'électricité à l'échelle individuelle dans les secteurs résidentiel et tertiaire

Fatima Fahs, FRÉDÉRIC BERTRAND, MYRIAM MAUMY.
Université de Strasbourg, Université de Technologie de Troyes.

Email : fatima.fahs@unistra.fr

Mots Clés : Modèles de prévision de la consommation d'électricité, échelle individuelle, secteurs résidentiel et tertiaire.

Biographie – Je suis diplômée d'un master 2 en calcul scientifique et mathématiques de l'information de l'université de Strasbourg en 2018. Actuellement, je suis inscrite en dernière année de thèse à l'école doctorale MSII et rattachée en tant que chercheuse à l'Institut de Recherche en Mathématiques Avancées de l'université de Strasbourg. Cette thèse s'effectue dans le cadre d'une collaboration avec une entreprise d'électricité et porte sur l'analyse des courbes de charge d'électricité et la prédiction à court terme dans les secteurs résidentiel et tertiaire.

Resumé :

La digitalisation a modifié le paysage traditionnel du secteur de l'électricité et a mis au défi les entreprises de toutes tailles avec tout son potentiel de disruption. Les entreprises d'électricité ont augmenté leurs investissements dans les technologies numériques comme les objets connectés (*IoT*), les *smart grids* et les compteurs intelligents (*Linky*). Les fournisseurs d'énergie investissent des milliards de dollars dans le remplacement des compteurs analogiques par des compteurs intelligents. Ces derniers peuvent mesurer, stocker et transférer des données de consommation d'électricité à haute fréquence. Ils peuvent être installés sur des circuits électriques appartenant à des ménages ou à des bâtiments, et sont également utilisés pour mesurer la consommation d'énergie au niveau des appareils électriques. Ils aideront les fournisseurs à optimiser la commercialisation d'électricité et informeront les clients en temps quasi réel sur leur consommation.

L'essor du digital a transformé également les habitudes du consommateur. Il souhaiterait un service entièrement adapté à ses besoins et au pilotage de sa consommation en temps réel ainsi que recevoir des conseils personnalisés et des alertes en cas de dépassement.

Aujourd'hui, certains fournisseurs d'électricité proposent à leur clientèle une application, accessible sur différents supports, permettant de suivre leurs consommations et leurs dépenses énergétiques en temps réel. L'objectif de nos travaux de recherche est d'étudier la possibilité d'intégrer des fonctionnalités prédictives pour chaque client dans ce type d'application de pilotage de la consommation.

Il existe une vaste littérature décrivant et testant une variété de techniques, pour la prévision de la charge au niveau national y compris les modèles de séries temporelles ((S)ARIMA), les modèles de lissage exponentiels [7], les modèles d'apprentissage automatique (réseaux de neurones artificiels, ANN, et séparateurs à vastes marges, SVM,[8] qui ont la capacité également de modéliser une relation non linéaire entre la charge et les variables météorologiques). Les modèles d'espace d'état (SSM)[3] ont été également utilisés. Parmi les méthodes non et semi paramétriques, Antoniadis *et al.* ont utilisé dans [1] un modèle de régression basé sur l'estimateur à noyau pour prédire la courbe de charge considérée comme un processus stochastique à valeurs fonctionnelles. Fan *et al.* [4] et d'autres chercheurs ont proposé des modèles hybrides pour la prévision de la consommation d'électricité à cette échelle. Certains de ces modèles permettent la quantification de l'influence de la température sur la prévision de la charge [10]. Récemment, les données récoltées par les compteurs intelligents, l'émergence d'applications dans le contexte des réseaux intelligents

et des maisons intelligentes ainsi que la gestion et la réponse à la demande, ont encouragé le développement d'approches de prévision à l'échelle individuelle allant des ménages jusqu'aux distributeurs. Pourtant, la haute volatilité de la charge d'électricité des ménages rend difficile les prévisions à court terme qui n'ont pas encore été réalisées de manière satisfaisante. Cette charge dépend de plusieurs facteurs comme le nombre et le mode de vie des occupants, leurs appareils électriques, la classe énergétique du logement, les caractéristiques du bâtiment et la météo [9].

Les approches mises en œuvre pour la prévision de la charge à l'échelle des ménages ne sont pas toutes commercialement viables en raison de leurs complexités (difficile à adapter sur de nouvelles données, non prise en compte des contraintes de temps de calcul et des ressources en mémoire).

Le but de ce travail de recherche est d'obtenir un modèle de prévision à $J + 1$ fiable et interprétable permettant de prédire la consommation d'électricité du lendemain pour chaque client à partir de son historique de consommation et des données météorologiques. Aucune information sur le client comme le nombre d'appareils électriques et la consommation de ces derniers, le nombre d'occupants dans le logement et la localisation géographique n'est renseignée. Le modèle que nous développerons sera intégré dans une application mobile. Ensuite, la solution envisagée doit également être compatible avec les contraintes industrielles comme la précision, la rapidité, l'adaptabilité, la robustesse, ...

Nous avons testé trois modèles de la littérature, le modèle *KWF* (*Functional Wavelet Kernel*) [2], le modèle *GAM* (*Generalized Additive Model*) [6] et le modèle *MARS* (*Multivariate Adaptive Regression Splines*) [5] pour la prévision à court terme des courbes de charge individuelles au pas demi horaire. Les trois modèles ont été évalués sur cinq courbes de charge résidentielles et cinq courbes de charge issues du tertiaire. Dans notre étude, nous avons distingué :

- les consommateurs thermosensibles et
- les consommateurs non thermosensibles.

Par conséquent, deux versions sont conçues pour chaque type : la première est dédiée à la prévision de la charge des profils thermosensibles en ajoutant la température extérieure comme variable exogène et la deuxième à la prévision de la charge des profils non thermosensibles à partir de l'historique de la consommation uniquement. Notre analyse a montré que la performance de la prévision dépend fortement de deux caractéristiques :

- la volatilité de la courbe de charge et
- sa sensibilité thermique.

La prévision des courbes de charge les moins volatiles est plus performante et les résultats obtenus sont plus satisfaisants notamment pour le secteur tertiaire. Nous avons proposé et testé également une approche de prévision particulièrement pour les données les plus volatiles (résidentielles). Les résultats montrent que cette dernière est plus adaptée aux données volatiles, elle permettra de réduire le pourcentage d'erreur dans les prévisions. Compte tenu de l'hétérogénéité des courbes de charge, nous testerons dans un deuxième temps les modèles pour un échantillon plus grand de données afin de prouver que les données de la consommation individuelles hautement volatiles peuvent être exploitées pour fournir des analyses prédictives fiables et interprétables aux consommateurs de leur consommation.

Références

- [1] Anestis Antoniadis, Xavier Brossat, Jairo Cugliari, and Jean-Michel Poggi. Prévision d'un processus à valeurs fonctionnelles en présence de non stationnarités. application à la consommation d'électricité. *Journal de la Société Française de Statistique*, 153(2):52–78, 2012.

- [2] Anestis Antoniadis, Xavier Brossat, Jairo Cugliari, and Jean-Michel Poggi. Une approche fonctionnelle pour la prévision non-paramétrique de la consommation d'électricité. *Journal de la Société Française de Statistique*, 155(2):202–219, 2014.
- [3] Virginie Dordonnat, Siem Jan Koopman, and Marius Ooms. Dynamic factors in periodic time-varying regressions with an application to hourly electricity load modelling. *Computational Statistics & Data Analysis*, 56(11):3134–3152, 2012.
- [4] Guo-Feng Fan, Xiao Wei, Ya-Ting Li, and Wei-Chiang Hong. Forecasting electricity consumption using a novel hybrid model. *Sustainable Cities and Society*, 61:102320, 2020.
- [5] Jerome H Friedman. Multivariate adaptive regression splines. *The Annals of Statistics*, 19(1):1–67, 1991.
- [6] Trevor J Hastie and Robert J Tibshirani. *Generalized additive models*, volume 43. CRC press, 1990.
- [7] Tao Hong. *Short Term Electric Load Forecasting*. Theses, North Carolina State University, September 2010.
- [8] Fazil Kaytez, M Cengiz Taplamacioglu, Ertugrul Cam, and Firat Hardalac. Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 67:431–438, 2015.
- [9] Akin Tascikaraoglu, AR Boynuegri, and Mehmet Uzunoglu. A demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: A smart home system in turkey. *Energy and Buildings*, 80:309–320, 2014.
- [10] Hüseyin Toros and Derya Aydın. Prediction of short-term electricity consumption by artificial neural networks using temperature variables. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14:393–398, 2019.