

Programme générateur d'un profil de charge journalier générique dans un contexte résidentiel en combinant les modèles physiques et des données météorologiques

Cheikh Elkebir Sidi Lekhel¹, Rita Mbayed², Oleksandr Velihorskyi³, Oleksandr Husev^{3,4}, Eric Monmasson¹

¹SATIE, CY Cergy Paris Université, Paris, France

²SATIE, Université Gustave Eiffel, Paris, France

³Embedded Systems Department, Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv, Ukraine

⁴Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia

RESUME – De nos jours, les systèmes de gestion de l'énergie évoluent vers une optimisation de la consommation dans le secteur résidentiel. L'un des aspects essentiels de cette démarche est la prédiction du profil de charge, qui permet un meilleur contrôle des flux d'énergie. Cet article propose un modèle de profil de charge basé sur une modélisation mathématique et thermique, intégrant les prévisions météorologiques et d'occupation. L'utilisateur peut l'adapter en choisissant ses paramètres et ainsi générer une estimation de son profil de charge, suffisamment précise pour être intégrée par la suite dans un algorithme de gestion d'énergie. Le modèle est validé par des simulations, démontrant son adaptabilité aux variations des conditions météorologiques et d'occupation pour une prédiction sur 24 heures.

Mots-clés – Gestion de l'énergie, prédiction de charge résidentielle, Impact des conditions météorologiques.

1. INTRODUCTION

La consommation électrique du secteur résidentiel dans l'Union européenne représente un tiers de la consommation finale d'électricité [1]. Par conséquent, différentes approches de Systèmes de Gestion de l'Énergie (SGE) ont émergé afin d'optimiser la consommation des ménages, soit en intégrant des sources d'énergie renouvelable, soit en décalant le fonctionnement de certains appareils vers des périodes à tarif réduit. L'un des points de départ communs à ces différentes approches consiste à anticiper le profil de charge afin d'évaluer au mieux la stratégie de contrôle pour les heures ou la journée à venir. Les modèles de profil de charge résidentielle peuvent s'appuyer sur des approches statistiques, en analysant les données historiques de consommation afin de prédire la demande énergétique [2]. L'inconvénient de cette méthode réside dans son manque de flexibilité et d'adaptabilité face à un nouveau cas ou à une situation différente. Une autre approche, dite physique, repose sur la modélisation des appareils domestiques, au moins les plus énergivores, afin de générer le profil de charge. Dans ce cas, chaque appareil est d'abord modélisé individuellement en prenant en compte les paramètres et les facteurs influençant son comportement. Dans le cadre de cette approche physique, il est aisé de constater que les appareils à commande thermostatique, tels que les réfrigérateurs, les systèmes CVC (chauffage, ventilation et climatisation), ainsi que les chauffe-eau électriques ont fait l'objet de nombreuses études. Ces types d'équipements peuvent être modélisés thermiquement, ce qui permet d'analyser et de prédire leur consommation électrique en représentant précisément l'évolution de la température. Dans [3], un modèle pour les charges domestiques a été développé afin de proposer une stratégie de contrôle de l'utilisation des charges, tout en garantissant les conditions de confort des occupants. Une plus grande flexibilité opérationnelle offerte par les appa-

reils à commande thermostatique basés sur des modèles thermiques a été étudiée dans [4]. Dans [5], l'étude a porté sur la consommation énergétique en modélisant le comportement humain afin d'améliorer la prévision de la charge. L'étude menée dans [6] s'est concentrée sur la désagrégation des charges résidentielles et des facteurs associés afin d'examiner l'effet de chaque facteur sur chaque appareil, offrant ainsi une compréhension approfondie de leur impact sur le profil de charge journalier.

Cet article propose l'élaboration d'un profil de charge pour un foyer résidentiel typique. L'étude commence par la modélisation des appareils domestiques. Tous les modèles d'équipements à commande thermostatique intègrent la température extérieure comme paramètre, et leur consommation électrique évolue en conséquence. Ainsi, le profil de charge est généré en combinant les charges individuelles. L'aspect innovant de ce travail réside dans la capacité du modèle à être intégré dans un SGE. Les seules données nécessaires pour prédire le profil de charge du jour suivant sont les prévisions météorologiques, notamment la température extérieure et l'ensoleillement. Une information complémentaire est le planning d'occupation, permettant de distinguer un jour ouvré d'un jour férié. À partir de ces données, le profil de charge est généré. Il convient de souligner que le programme est flexible : il peut s'adapter à un nouveau nombre d'occupants (adultes et/ou enfants), à une surface habitable différente, à un type d'isolation modifié, etc. Ces variations peuvent être introduites simplement en modifiant les paramètres correspondants. Contrairement aux approches basées sur l'intelligence artificielle, qui nécessitent souvent des volumes importants de données historiques, la méthode proposée présente l'avantage d'être paramétrable, et directement exploitable en environnement embarqué. Elle permet une prédiction du profil de charge sur 24 heures afin d'être couplée à une routine d'optimisation énergétique quotidienne dans un SGE résidentiel.

L'article est structuré comme suit : Les charges résidentielles sont classifiées dans la Section 2. Cette section présente également l'application considérée, facilitant ainsi la modélisation des appareils par la suite. La Section 3 est consacrée à la modélisation des principaux équipements domestiques, tels que la pompe à chaleur et le chauffe-eau. Le modèle repose sur la thermodynamique afin de déterminer la modélisation thermique (modèles RC) des appareils. La simulation a été réalisée sous Matlab/Simulink avec un pas variable, dont le pas minimum est fixé à 0,001. La Section 4 présente la génération de profils de charge dans différentes conditions (saisons, occupation), et montre que ces profils respectent les contraintes imposées par les habitudes des occupants.

2. CLASSIFICATION DES CHARGES RÉSIDENTIELLES

Les appareils et charges typiques d'un logement sont classés en différents groupes selon leurs caractéristiques de fonctionnement :

- **Fonctionnement continu (24h/24) :** Cette catégorie comprend les appareils qui fonctionnent en permanence, indépendamment des facteurs extérieurs. Exemples : box internet, système de ventilation.
- **Fonctionnement dépendant de la présence :** Ces appareils ne fonctionnent que lorsqu'il y a des occupants dans le logement. Exemples : télévision, micro-ondes, four, etc.
- **Fonctionnement dépendant de la présence et de la lumière naturelle :** Les charges d'éclairage appartiennent à cette catégorie. Elles s'activent en fonction de la présence des occupants et de la disponibilité de la lumière du jour.
- **Fonctionnement dépendant de la température :** La consommation électrique de certains appareils est influencée par la température ambiante, directement ou indirectement via la température de l'eau froide à l'entrée, qui varie avec les conditions météorologiques. Le modèle de ces appareils doit donc intégrer cette variable supplémentaire. Exemples : machine à laver, chauffe-eau, réfrigérateur.
- **Fonctionnement dépendant de la présence et de la température :** Le système de chauffage/refroidissement est fortement dépendant de la température extérieure. Toutefois, son fonctionnement varie également selon l'occupation : les consignes de température intérieure ne sont pas les mêmes en cas d'absence. Dans cet article, le système de chauffage/refroidissement est modélisé par une pompe à chaleur.

Le cas d'étude présenté dans cet article correspond à une maison de 80 m², située en région parisienne, habitée par une famille de quatre personnes : deux adultes et deux enfants. L'isolation de la maison est conforme à la réglementation thermique RT2012 [16]. Les paramètres de cette habitation peuvent être modifiés dans le modèle via des entrées correspondantes.

3. MODÉLISATION DES ÉQUIPEMENTS RÉSIDENTIELS

Afin de générer un profil de charge complet sur 24 heures pour un foyer, les principaux appareils énergivores sont d'abord modélisés. La sélection des appareils considérés dans cette étude repose sur le rapport de l'ADEME [7], en lien avec la durée et la fréquence de fonctionnement de chaque équipement.

Sur la base de ce rapport, l'étude présentée dans cet article permet de générer un profil de charge représentatif, pouvant être utilisé dans des travaux futurs tels que l'optimisation des flux énergétiques ou l'intégration dans SGE.

3.1. Modèle de chauffe-eau électrique

En France, la consommation moyenne d'un chauffe-eau (CE) représente 19,7 % de la charge électrique des ménages [7], et les chauffe-eau électriques sont couramment utilisés [8]. C'est donc ce type qui est considéré dans cet article.

Un modèle complet du système de chauffe-eau est présenté dans la Figure 1. Sur cette base, un profil de consommation d'eau chaude est tout d'abord généré. Il dépend du nombre d'occupants et de leur âge. Selon [9], le besoin moyen quotidien en eau chaude est estimé à 56 litres par adulte à 40 °C. Le volume du réservoir du chauffe-eau peut être déterminé en fonction de la consommation moyenne par occupant, comme illustré par l'équation (1) :

$$V = N_p \cdot V_i \quad (1)$$

où N_p représente le nombre d'occupants dans le logement, et V_i le volume moyen d'eau consommé quotidiennement par personne. Dans cette étude, V_i est fixé à 50 litres.

L'évolution de la température dans le réservoir est décrite par l'équation (2) [10, 11].

$$C_{tank} \frac{dT_{tank}(t)}{dt} = W_d(t) \rho C_p (T_{in} - T_{tank}(t)) + A_{tank} (T_{amb} - T_{tank}(t)) + Q_{ch} \quad (2)$$

Où T_{tank} (°C) est la température de l'eau dans le réservoir, T_{in} (°C) est la température de l'eau d'entrée, T_{amb} (°C) est la température ambiante, ρ (kg/m³) représente la densité de l'eau, C_p (J/kg°C) est la capacité calorifique spécifique de l'eau, V (m³) est le volume du réservoir, et C_{tank} (J/°C) représente la capacité thermique de l'eau dans le réservoir, définie par $C_{tank} = \rho C_p V$. De plus, A_{tank} (W/°C) est la conductance thermique du réservoir, Q_{ch} (W) est la puissance électrique d'entrée, P_N (W) est la puissance nominale du chauffe-eau. Le facteur le plus influent dans cette équation est la température de l'eau froide d'entrée. W_d (m³/s) représente la consommation d'eau chaude, calculée en utilisant l'équation (3).

$$W_d(t) = D_u(t) \frac{T - T_{in}(t)}{T_{tank}(t) - T_{in}(t)} \quad (3)$$

Il est important de noter que les durées de puisage en eau chaude sont très courtes. Selon les mesures présentées dans [9], la durée totale de puisage pour une famille de quatre personnes est de 31 minutes par jour.

Une période de tarif réduit est appliquée (comme c'est généralement le cas en France) : cela signifie que l'eau dans le réservoir est chauffée pendant la nuit (période à bas tarif) afin de couvrir les besoins prévus en eau chaude pour la journée suivante. La température à l'intérieur du chauffe-eau est régulée pour rester dans une plage définie, comme résumé dans le Tableau 1.

La puissance Q_{WH} est calculée conformément à l'équation (4).

$$Q_{ch}(t) = \begin{cases} P_N, & \text{si } T_{tank} \leq T_{ch,min} \\ 0, & \text{si } T_{tank} \geq T_{ch,max} \end{cases} \quad (4)$$

TABEAU 1. Paramètres de température en fonction du tarif électrique

Pendant le tarif bas		Pendant le tarif élevé	
$T_{ch,min}$	$T_{ch,max}$	$T_{ch,min}$	$T_{ch,max}$
55°C	60°C	40°C	45°C

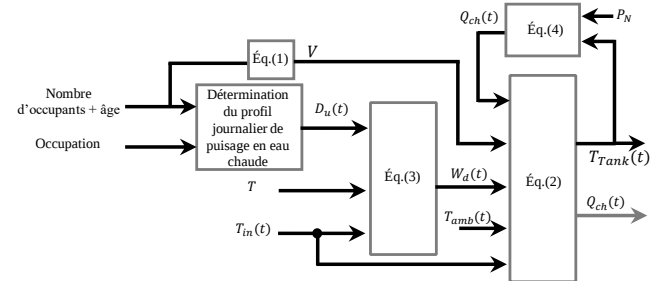


FIG. 1. Modèle du chauffe-eau

Figure 2 illustre le comportement dynamique du système de chauffe-eau sur une période de 24 heures : pendant les périodes de tarif bas, le chauffe-eau fonctionne à pleine capacité afin de chauffer le réservoir jusqu'à atteindre la plage de température souhaitée, garantissant ainsi un approvisionnement suffisant en eau chaude pour la journée. Ceci se traduit par une augmentation de Q_{ch} dès les premières heures, accompagnée d'une élévation correspondante de T_{tank} . Au fur et à mesure que la demande

des utilisateurs D_u augmente pendant les périodes de forte demande, particulièrement en soirée, la consommation d'eau (W_d) augmente également, entraînant une diminution progressive de T_{tank} . La température de l'eau d'entrée et la demande des utilisateurs influencent de manière significative la dynamique thermique de l'eau dans le réservoir, comme le montrent les changements rapides de D_u et W_d en période de forte demande. Le débit utilisateur D_u est basé sur des données réelles de consommation d'eau chaude issues d'un foyer de quatre occupants [9].

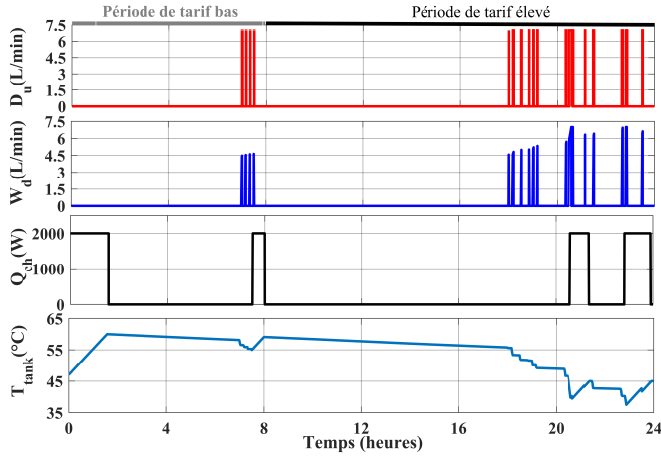


FIG. 2. Profil de consommation électrique sur 24 heures et évolution de la température pour le chauffe-eau

3.2. Pompe à chaleur

L'utilisation des pompes à chaleur (PAC) pour le chauffage et la climatisation s'est multipliée ces dernières années [13], notamment en France, conformément aux objectifs fixés par le gouvernement visant à remplacer les systèmes de chauffage au charbon ou au fioul [14]. Il existe plusieurs types de pompes à chaleur. Parmi elles, la pompe à chaleur air/air réversible est une technologie largement adoptée sur le marché européen [15].

L'évolution de la température à l'intérieur de la maison est décrite par l'équation (5), et sert d'entrée pour la température ambiante du réfrigérateur et du chauffe-eau.

$$C_i \frac{dT_{amb}(t)}{dt} = G_{eq}(T_{ext} - T_{amb}(t)) + \Phi + Q_{PAC}(t) \quad (5)$$

Où T_{amb} (°C) est la température ambiante, T_{ext} (°C) est la température extérieure, V_h (m³) est le volume de la maison, ρ_0 (kg/m³) est la densité de l'air, C_0 (J/kg°C) est la capacité calorifique spécifique de l'air, et C_i (J/°C) représente la capacité thermique de l'air dans la maison, définie par $C_i = \rho_0 C_0 V_h$. Φ (W) désigne la chaleur générée par les appareils de cuisson, qui est prise en compte en ajoutant un apport thermique à l'intérieur de la maison lorsque ces appareils sont utilisés, et Q_{PAC} (W) représente la puissance thermique produite par la pompe à chaleur.

Le calcul est effectué sous l'hypothèse d'une température uniforme à l'intérieur de la maison, sans prise en compte des partitions. Une telle simplification du modèle mathématique n'entraîne pas de dégradation significative de l'estimation de la consommation énergétique. La Fig. 3 présente le modèle proposé pour le système de chauffage/refroidissement.

G_{eq} (W/°C) est la transmittance thermique équivalente de la maison. Elle correspond à la somme des transmittances des murs, du toit et des fenêtres, pondérées par leurs surfaces respectives, comme indiqué dans l'équation (6).

$$G_{eq} = G_M + G_r + G_f = \vartheta_M S_W + \vartheta_r S_r + \vartheta_F S_F \quad (6)$$

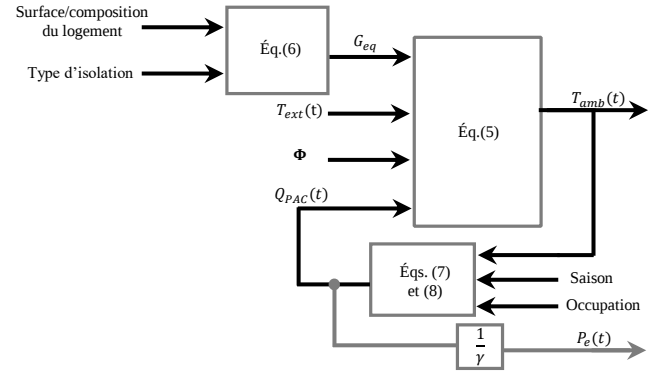


FIG. 3. Modèle proposé pour le système de chauffage/refroidissement

où ϑ_i (W/m².°C) représente la transmittance thermique surfacique du matériau considéré. Dans le cas étudié, l'isolation de la maison est conforme à la RT2012 [16], et les valeurs de ϑ_i sont choisies en conséquence.

Le système de chauffage/refroidissement est programmé pour maintenir la température intérieure dans des plages spécifiques en fonction de la saison et de l'occupation, comme résumé dans le Tableau 2.

TABLEAU 2. Réglages de température intérieure selon la saison et l'occupation

2°Occupation	Hiver			Été	
	$T_{h,min}$	$T_{h,max}$	Nuit	$T_{h,min}$	$T_{c,min}$
Présent	19°C	21°C	17°C	25°C	26°C
Absent	16°C	17°C	16°C	PAC arrêtée	

Q_{PAC} est calculé en fonction de la saison, comme indiqué dans les équations (7) et (8).

En hiver :

$$Q_{PAC}(t) = \begin{cases} K Q_{PAC,max} (T_{set} - T_{amb}), & \text{si } T_{amb} \leq T_{h,min} \\ 0, & \text{si } T_{amb} \geq T_{h,max} \end{cases} \quad (7)$$

En été :

$$Q_{PAC}(t) = \begin{cases} -K Q_{PAC,max} (T_{set} - T_{amb}), & \text{si } T_{amb} \geq T_{c,min} \\ 0, & \text{si } T_{amb} \leq T_{c,max} \end{cases} \quad (8)$$

où K est le gain proportionnel, $Q_{PAC,max}$ (W) est la puissance thermique maximale de la pompe à chaleur, et T_{set} (°C) est la température de consigne intérieure.

La puissance électrique consommée par la pompe à chaleur, notée $P_e(t)$, est déterminée en divisant $Q_{PAC}(t)$ par le facteur d'efficacité γ , comme illustré dans la Fig. 3.

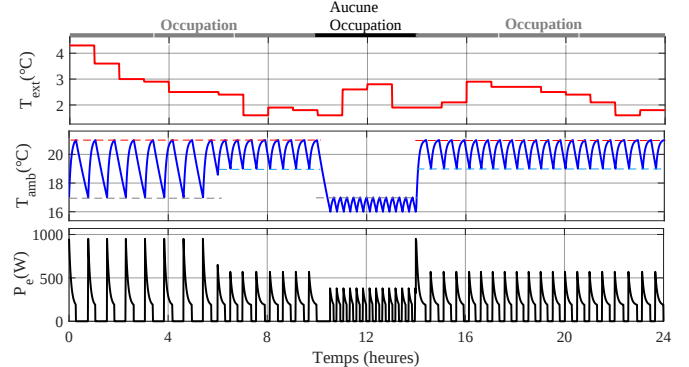


FIG. 4. Profil de charge de la pompe à chaleur pour l'hiver

La Fig. 4 illustre la variation de la température intérieure et met en évidence la réponse de la pompe à chaleur pour maintenir cette température dans une plage acceptable, en tenant compte de la présence des occupants dans la maison et des réglages programmés présentés dans le Tableau 2 lors de températures extérieures basses.

3.3. Modèle de réfrigérateur

En France, les réfrigérateurs consomment environ entre 166 et 450 kWh par an [7]. Cette consommation relativement élevée s'explique par leur fonctionnement continu 24 heures sur 24. Leur consommation énergétique dépend de l'état du compresseur (ON/OFF), qui est piloté par un thermostat. La température ambiante est reconnue comme le paramètre le plus influent affectant la consommation d'énergie des réfrigérateurs domestiques [17].

L'évolution de la température intérieure du réfrigérateur est décrite par l'équation (9) :

$$C_r \frac{dT_r(t)}{dt} = \frac{1}{R_r} (T_{amb} - T_r(t)) - P_R(t) \quad (9)$$

où T_r (°C) est la température intérieure du réfrigérateur, C_r (J/°C) est la capacité thermique du réfrigérateur, R_r (°C/W) est la résistance thermique de l'enveloppe, et $P_R(t)$ (W) représente la puissance électrique d'entrée du réfrigérateur. L'expression de $P_R(t)$ est donnée par :

$$P_R(t) = \begin{cases} P_{Rn}, & \text{si } T_r \geq T_{r,max} \\ 0, & \text{si } T_r \leq T_{r,min} \end{cases} \quad (10)$$

Il convient de noter que des modèles thermiques plus détaillés sont disponibles dans la littérature [18], mais leur complexité ne correspond pas aux objectifs visés dans cette étude.

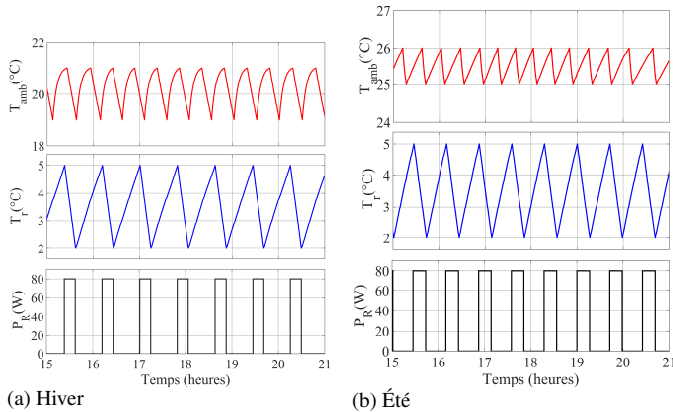


FIG. 5. Profil de consommation électrique du réfrigérateur selon la saison

La Fig. 5 montre l'impact de la température ambiante sur la durée de fonctionnement du compresseur ainsi que sur le nombre de cycles pour une même période de temps. Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte ce paramètre, qui, dans ce cas, correspond à la température de sortie de la pompe à chaleur T_{amb} .

3.4. Modèle de machine à laver

Une étude visant à inclure tous les programmes de lavage disponibles s'avère pratiquement irréalisable. Par conséquent, seuls les cycles de lavage synthétiques les plus couramment utilisés sont pris en compte dans cet article. Une campagne menée auprès de 100 foyers français [7] a révélé que 81% des cycles de lavage sont effectués à 30 ou 40°C, la majorité ayant lieu le matin.

Quel que soit le programme sélectionné, le fonctionnement d'une machine à laver se compose de trois phases non interruptibles : le chauffage de l'eau, le lavage et l'essorage [19]. Les deux dernières présentent une consommation quasiment constante (en moyenne 80 W pour le lavage et 150 W pour l'essorage). Une attention particulière est accordée à la première phase, car sa durée et sa consommation dépend de la température de lavage choisie ainsi que de la température de l'eau froide à l'entrée.

Un modèle thermique pour la phase de chauffage de l'eau est proposé dans l'équation (11) :

$$T_M(t) = \frac{P_{Chauffage}}{C_M} \cdot t + T_{in} \quad (11)$$

où T_M (°C) est la température de l'eau à l'intérieur du tambour de la machine à laver, $P_{Chauffage}$ (W) est la puissance électrique utilisée pendant la phase de chauffage, V_M (m³) est le volume d'eau utilisé pour le cycle de lavage, et C_M (J/°C) est la capacité thermique de l'eau dans le tambour, définie par $C_M = \rho C_p V_M$.

La Fig. 6 met en évidence l'impact de la température de l'eau froide d'entrée sur la durée du cycle. Cette variation dans la durée des cycles de lavage illustre l'effet de la température sur la consommation énergétique, puisqu'une eau plus froide entraîne un temps de chauffage plus long.

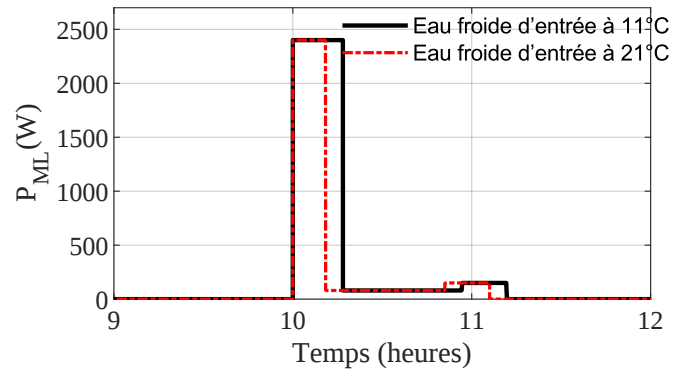


FIG. 6. Profil de puissance de la machine à laver pour différentes températures de l'eau froide d'entrée

4. GÉNÉRATION DU PROFIL DE CHARGE

La Fig. 7 présente un modèle global du générateur de profil de charge générique, illustrant les principaux blocs fonctionnels, notamment les modèles d'appareils et les entrées du programme. Le bloc de contrôle des appareils concerne les charges résidentielles pilotables, telles que le chauffe-eau et la pompe à chaleur.

Ce modèle générique permet de gérer les appareils dans le cadre d'un SGE, ce qui peut contribuer à réduire les coûts de consommation énergétique ainsi que les pics de demande. De nombreuses simulations ont été réalisées afin de valider le modèle complet et d'analyser plus en détail l'impact des données météorologiques et de l'occupation sur la consommation d'énergie.

Les figures 8 et 9 montrent l'influence de paramètres tels que l'occupation et les températures intérieures/extérieures sur les profils de charge résidentiels. En hiver, la demande de chauffage augmente en raison des basses températures extérieures et d'une eau d'entrée plus froide. En été, la demande de refroidissement se manifeste par le fonctionnement de la pompe à chaleur en mode refroidissement afin de maintenir la température intérieure en dessous de 26°C.

Par ailleurs, la présence continue des occupants accroît considérablement la consommation des appareils commutables, alors

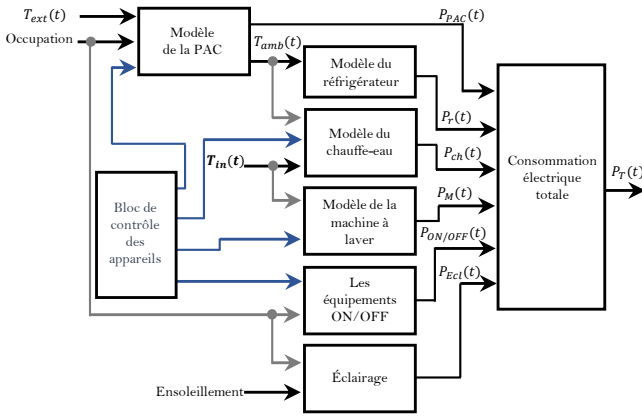


FIG. 7. Modèle global du générateur de profil de charge générique

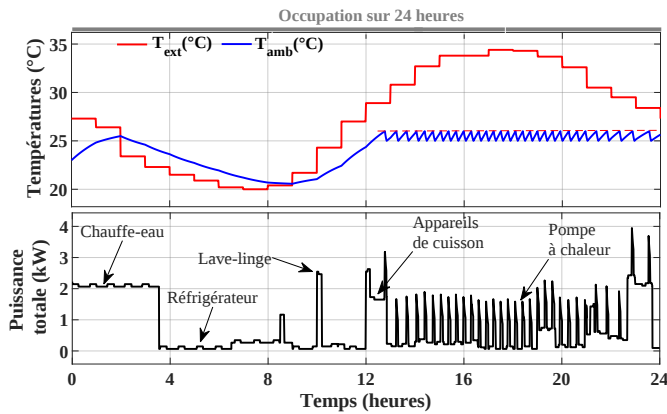


FIG. 8. Profil de charge résidentiel avec l'évolution de la température extérieure en été

que leur absence la diminue. Dans l'ensemble, ces variations illustrent la sensibilité de la consommation résidentielle aux conditions saisonnières et au comportement des occupants.

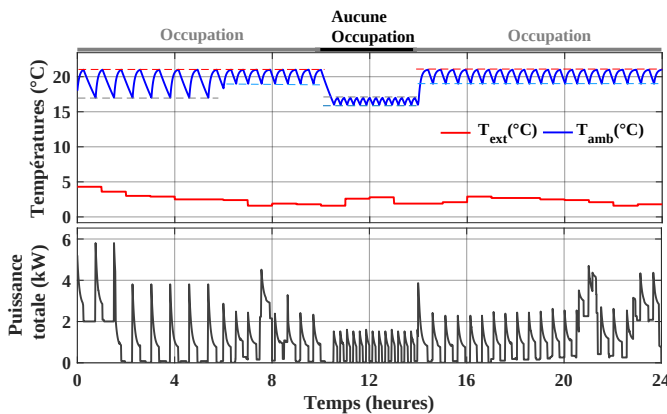


FIG. 9. Profil de charge résidentiel avec l'évolution de la température extérieure en hiver

5. CONCLUSION

Cet article propose un générateur générique de profil de charge pour un foyer résidentiel typique. L'étude repose sur la modélisation des appareils les plus énergivores et la combinaison de leur consommation sur une période de 24 heures. Les données météorologiques ainsi que l'occupation du logement

ont été prises en compte pour la prédiction du profil de charge.

La genericité de ce générateur, ainsi que sa capacité à s'adapter à des paramètres définis par l'utilisateur, en font un outil prometteur pour les études d'optimisation des flux énergétiques. Les travaux futurs porteront sur la validation de l'exactitude des modèles physiques proposés, en comparant les résultats de simulation avec des mesures expérimentales réelles, ainsi que sur leur implantation sur une plateforme embarquée à faible coût, en vue de leur intégration dans un système de gestion de l'énergie résidentielle.

6. REMERCIEMENTS

Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de l'action Marie Skłodowska-Curie, convention de subvention n° 955614.

7. RÉFÉRENCES

- [1] E. Proedrou, « A Comprehensive Review of Residential Electricity Load Profile Models », *IEEE Access*, vol. 9, pp. 12114–12133, 2021.
- [2] G. Buttitta et F. Donal P, « A high-temporal resolution residential building occupancy model to generate high-temporal resolution heating load profiles of occupancy-integrated archetypes », *Energy and Buildings*, vol. 206, p. 109577, 2020.
- [3] M. P. Fanti, A. M. Mangini et M. Roccatelli, « A simulation and control model for building energy management », *Control Engineering Practice*, vol. 72, p. 192 205, 2018.
- [4] M. Tostado-Véliz, M. Bayat *et al.*, « Home energy management in off-grid dwellings : Exploiting flexibility of thermostatically controlled appliances », *Journal of Cleaner Production*, vol. 310, p. 127507, 2021.
- [5] N. Pereira et M. Martínez-Ramón, « Energy usage and human behavior modeling for residential bottom-up energy simulation », *Energy and Buildings*, vol. 279, p. 112653, 2023.
- [6] F. Falaki, A. Merabtine et D. Martouzet, « A Spatio-Temporal Analysis of electric appliance end-use demand in the residential sector : Case study of Tours (France) », *Sustainable Cities and Society*, vol. 65, p. 102635, 2021.
- [7] ENERTECH, ADEME et RTE, « changement climatique et energie », [Online]. Disponible : <https://bibliothèque.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/4473-panel-usages-electrodomestiques.html>. [Accédé le 29 janv. 2025].
- [8] ADEME, "L'eau chaude sanitaire," 19 1 2016. [Online]. Available : <https://bibliothèque.ademe.fr/batiment/5528-pratiques-et-consommation-d-eau-chaude-sanitaire-enseignements-d-une-experimentation-sociotechnique-dans-le-secteur-domestique>. [Accessed 15 Dec. 2023].
- [9] ADEME, « un guide sur les besoins d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif », 29 août 2016. [Online]. Disponible : <https://www.precarite-energie.org/IMG/pdf/besoin-eau-chaude-sanitaire-habitat-individuel-et-collectif-8809.pdf>. [Accédé le 29 janv. 2025].
- [10] Z. Xu, R. Diao, S. Lu, J. Lian and Y. Zhang, "Modeling of Electric Water Heaters for Demand Response : A Baseline PDE Model," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, pp. 2203–2210, 2014.
- [11] A. Shabani, D. Dhamo, D. Panxhi and O. Zavalani, "Modelling and simulation of home appliances using electric circuit analogy : Albanian case study," *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe*, pp. 1–5, 2019.
- [12] C. Agudelo-Vera, S. Avvedimento, J. Boxall *et al.*, "Drinking water temperature around the globe : understanding, policies, challenges and opportunities," *Water*, vol. 12, p. 1049, 2020.
- [13] D. Laverty, A. F. M. Jaramillo and A. Foley, "Multi-room Temperature and Humidity Environmental Monitoring for Home Energy Control," *34th Irish Signals and Systems Conference (ISSC)*, pp. 1–6, 2023.
- [14] ADEME, "Etat des lieux des filières de la pompe à chaleur," 2021. [Online]. Available : <https://bibliothèque.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/5695-etat-des-lieux-des-filières-de-la-pompe-a-chaaleur>. [Accédé le 17 Mai 2025].
- [15] « Heat pumps : Europe's buildings avoid more emissions than ever », 2023. [Online]. Available : <https://www.ehpa.org/2023/06/28/press-releases/market-report-2023/>. [Accédé le 17 Mai 2025].

2025].

- [16] ADEME, « Les exigences réglementaires pour les travaux de rénovation », 7 juil. 2023. [Online]. Disponible : <https://bibliothèque.ademe.fr/batiment/6423-les-exigences-reglementaires-pour-les-travaux-de-renovation-9791029721717>. [Accédé le 29 janv. 2025].
- [17] H. H. Masjuki, R. Saidur, A. I. Choudhury *et al.*, « Factors affecting energy consumption of household refrigerator-freezers », *2000 TENCON Proceedings. Intelligent Systems and Technologies for the New Millennium*, IEEE, vol. 2, pp. 92–96, 2000.
- [18] G. T. Costanzo, F. Sossan, M. Marinelli, P. Bacher et H. Madsen, « Grey-box modeling for system identification of household refrigerators : A step toward smart appliances », *2013 4th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, IEEE, pp. 1–5, 2013.
- [19] J. Khoury, R. Mbayed, G. Salloum and M. Eric, "Predictive demand side management of a residential house under intermittent primary energy source conditions," *Energy and Buildings*, vol. 112, pp. 110–120, 2016.