



HAL
open science

Modélisation statistique d'équipements électriques en vue de la simulation des gestionnaires énergétiques de l'habitat

Duy An Pham, Benoit Delinchant, Stéphane Ploix

► **To cite this version:**

Duy An Pham, Benoit Delinchant, Stéphane Ploix. Modélisation statistique d'équipements électriques en vue de la simulation des gestionnaires énergétiques de l'habitat. XXXe Rencontres AUGC-IBPSA, Jun 2012, Chambéry, France. hal-01103569

HAL Id: hal-01103569

<https://hal.science/hal-01103569>

Submitted on 15 Jan 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modélisation statistique d'équipements électriques en vue de la simulation des gestionnaires énergétiques de l'habitat

Duy An PHAM¹, Benoit DELINCHANT¹, Stéphane PLOIX²

¹ G2ELab – Laboratoire de génie électrique de Grenoble.
ENSE3, 11 rue des Mathématiques, BP 46, 38402 Saint Martin d'Hères
benoit.delinchant@G2ELab.grenoble-inp.fr

² G-Scop – Laboratoire des Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production de Grenoble, 46, avenue Félix Viallet - 38031 Grenoble

RÉSUMÉ. Les équipements électriques spécifiques, tels que l'électroménager ou la bureautique, ne sont peu voire pas pris en compte dans la gestion énergétique des bâtiments. Ils constituent pourtant un poste de consommation non négligeable, et en constante hausse sur les 30 dernières années, avec une augmentation moyenne annuelle de 500 Wh/m². Une modélisation déterministe classique ne permet pas de rendre compte des interactions complexes entre les équipements et leurs usages. Ainsi, nous proposons une modélisation statistique permettant de reproduire cette complexité, tout en aboutissant à des modèles analytiques légers, facilement paramétrables. La méthodologie proposée nécessite une base de données conséquente permettant le traitement statistique. Elle est appliquée sur l'exemple du lave-linge.

ABSTRACT. The specific electrical equipment, such as household appliances or office, are little or not included in the energy management of buildings. Yet they are a significant consumption item, and constantly increasing over the past 30 years, with an average annual increase of 500 Wh/m². A classical deterministic modelling does not take complex interactions between the equipment and their uses into account. Thus, we propose a statistical model to reproduce this complexity, while achieving lightweight analytical models, easily configurable. The proposed methodology requires a consistent database for statistical processing. It is applied to the example of washing machine.

MOTS-CLÉS : équipements électriques, usages.

KEY WORDS: electrical appliances, usages.

1. Les équipements électriques spécifiques

1.1. Part dans la consommation d'un bâtiment

Les méthodes de gestion énergétique perforantes requièrent souvent des modèles du système bâtiment. Nous nous proposons ici d'investiguer des modèles d'équipements spécifiques nommés OUE pour « other use of electricity » regroupant des équipements tels qu'un réfrigérateur, une machine à laver le linge ou une télévision. Ces équipements bien que souvent mis de côté dans les modèles systèmes, représentent une part non négligeable dans le bilan énergétique (Tableau 1)

Tableau 1. Consommation des usages spécifiques de l'électricité dans le secteur résidentiel. Résultats des différentes campagnes de mesures européennes [SID 98].

Equipement	Consommation en kWh/an				
	Nutek (Suède)	CCE (Portugal)	Ciel (France)	Ecodrôme (France)	Electricity Association (G.B.)
Réfrigérateurs	485	274	370	362	320
Réfrigérateurs/congélateurs	763	622	570	721	655
Congélateurs	1048	729	614	619	615
Lave-Linge	315	145	234	262	240
Lave-vaisselle	568	284	280	290	360
Sèche-linge	372		437	373	260
TV		152	138	201	

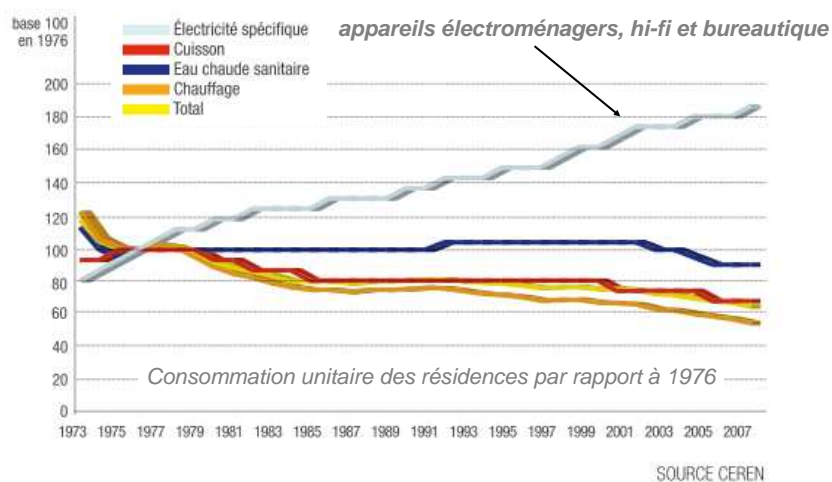


Figure 1. Evolution des consommations unitaire des résidences principales par usage en kWh/m² [ADM 10]

La Figure 1 montre que la consommation unitaire moyenne d'électricité spécifique est passée de 13 kWh/m² en 1973, à 30 kWh/m² en 2008. Selon [ADM 10] ce phénomène s'explique notamment par la progression de l'équipement en appareils électroménagers, hi-fi et bureautique.

1.2. Difficulté de modélisation

Il existe peu de travaux sur ces équipements contrairement aux équipements énergétiques (i.e. HVAC [DAN 10]) ou encore l'éclairage qui a lui seul constitue un gros poste de consommation ([CRA 10]).

Les modèles existants des OUE [LE 08][OCN 08][RUZ 10][Wil 10] sont généralement des modèles pour la gestion et donc des modèles prévisionnels à court ou moyen terme pour anticiper et prévoir la stratégie de gestion optimale sur un horizon temporel bien défini. Ils sont souvent très approximatifs en raison d'une incapacité à prévoir finement le comportement des usagers et cela malgré de nombreux travaux [HAW 10][ROB 10]. Ce comportement étant crucial car il conditionne directement la consommation électrique des équipements et leur production de chaleur.

L'idée d'une modélisation statistique de l'usage de ces équipements est donc pertinente. Ainsi, à partir de données recueillies dans le cadre de la campagne de mesure REMODES d'EDF, la base de données Irisé, détaillant les consommations annuelles des plusieurs OUE de 100 maisons individuelles avec une résolution de 10 minutes, a été analysée.

2. Méthodologie de modélisation proposée

La méthodologie que nous proposons pour parvenir à l'établissement d'un modèle d'OUE est la suivante :

- Identifier des profils paramétrés de consommation de chaque équipement. Cette première étape peut nécessiter des mesures avec une résolution plus précise.
- Identifier une loi de probabilité pour chaque paramètre de ces profils de consommation, comme l'instant de démarrage, la puissance électrique consommée, ou la durée.
- Dissocier, en fonction de la nature des paramètres, deux modèles :
 - celui de l'utilisateur (*paramètre de démarrage par exemple*)
 - celui de l'équipement (*profil + paramètre de puissance par exemple*).

La base de donnée exploitée étant suffisamment importante, des statistiques peuvent être menées par maison (*usage sur toute une année*), mais aussi entre maison (*profil des usagers changeant pour un même type d'équipement*).

3. Classification des OUE

3.1. Catégorisation des profils de charge électrique

Un objectif important vis-à-vis de la gestion d'un équipement, est la nature de son profil de consommation ainsi que sa capacité d'action (*décalable, interruptible, pas d'action*). La procédure d'identification des modèles pourra dépendre de la catégorie de l'équipement considéré.

- groupe 1 : fonctionnement en cycles et pendant une durée limitée dans une journée (*lave-linge, lave-vaisselle, la cuisinière, four*)
- groupe 2 : fonctionnement en cycle continu (*réfrigérateur, congélateur*).
- groupe 3 : pas de cycle particulier (*bureautique*).

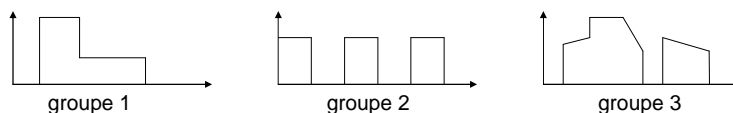


Figure 2. Catégorisation des profils de charge électrique par nature des cycles

3.2. Lien avec la température

Une autre caractéristique des équipements est relative à leur dépendance thermique. Ainsi, certains équipements consomment différemment en fonction de la température interne ou externe au bâtiment, tandis que d'autres dégagent une puissance thermique pouvant être incluse dans les apports internes d'une simulation thermique dynamique de l'enveloppe (Figure 3).

- OUE thermo-régulés : la consommation électrique dépend de la température interne/externe au système et de la consigne de commande (*i.e. un réfrigérateur, température d'eau d'un lave-linge*).
- OUE source thermique : une part de l'énergie électrique consommée est transformée en chaleur qu'il est nécessaire de prendre en compte pour le confort d'été par exemple (*i.e. cuisson, bureautique, hi-fi*)

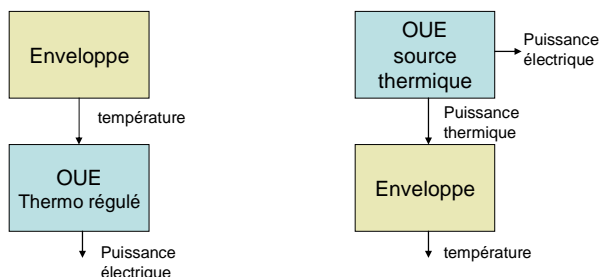


Figure 3. Couplage d'un OUE dans une simulation du bâtiment, en fonction de la nature de sa dépendance en température.

4. Application au lave linge

4.1. Identification du profil et des paramètres

Nous détaillons plus particulièrement un modèle de lave linge, constituant un poste de consommation important en raison du chauffage de l'eau. Un premier profil issu de mesures à un pas de temps d'une minute, nous permet d'identifier un profil « type ».

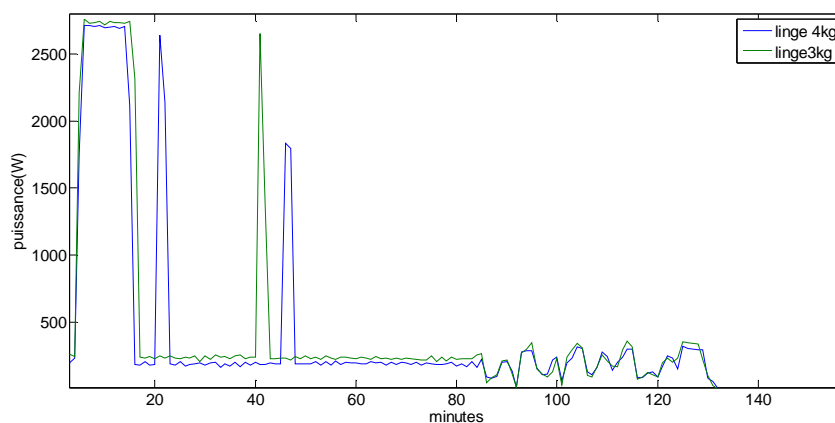


Figure 4. Puissance active mesurée toutes les minutes d'un lave linge à la température 90°C.

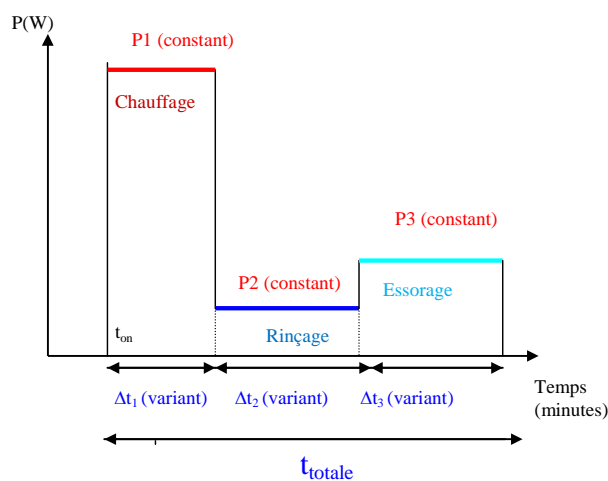


Figure 5. Profil identifié avec 3 zones (chauffage, rinçage et essorage) et 2 paramètres par zone (durée, puissance).

L'analyse de la base de données permet de connaître la dépendance des paramètres. Par exemple, les puissances changent très peu en fonction du type de lave-linge. A l'opposé Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 varient toujours, et dépendent du programme, du poids des vêtements (kg), et l'état de l'eau. D'autre part, d'un point de vue de l'énergie consommée ($E = P_1 \cdot \Delta t_1 + P_2 \cdot \Delta t_2 + P_3 \cdot \Delta t_3$), comme $P_1 \gg P_2$ et P_3 , on ne s'intéresse qu'à l'identification de la durée Δt_1 et de la durée totale.

4.2. Identification des lois de distribution des paramètres

Une méthode de classification exploitant l'algorithme « K-mean » est utilisée pour analyser la base de données. Elle permet de regrouper les maisons ou les équipements en groupes ayant les mêmes caractéristiques. Par exemple, le regroupement de 412 profils de consommation d'un lave-linge en 3 profils proches représentant 3 régimes possibles d'utilisation de l'équipement, est fourni par l'algorithme. Associés à ces 3 régimes, nous pouvons tracer la distribution des paramètres le caractérisant (*i.e.* la durée d'utilisation).

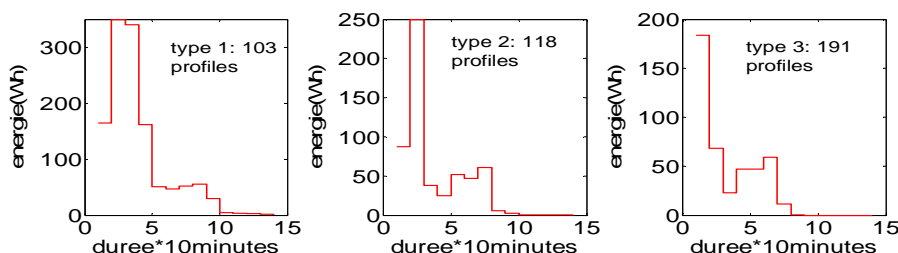


Figure 6. 3 groupes résultant de la classification de 412 profils d'utilisation d'un lave linge

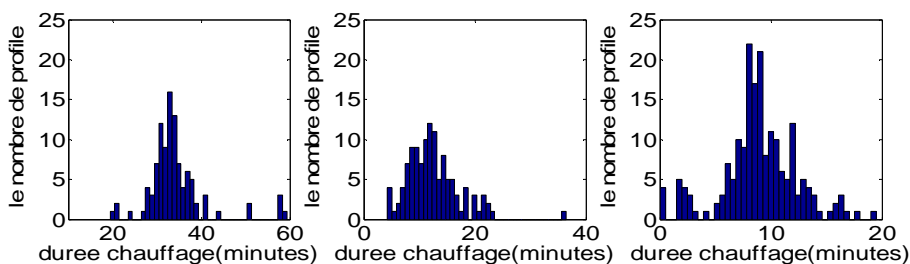


Figure 7. Distribution la durée de chauffage des 3 types de profil

Les paramètres d'usage peuvent également être déterminés de la même manière (*l'instant de démarrage, le régime utilisé ou le nombre d'utilisations dans une semaine*).

L'analyse des données définissant le comportement de 34 usagers vis-à-vis du démarrage du lave linge permet d'obtenir, par classification, 3 groupes, dont les 2

principaux (18 maisons et 14 maisons) démarrent la machine le matin à 10h. Un autre groupe (2 maisons) semble disposer d'un démarrage programmé à 2h du matin (passage en heure creuse ?).

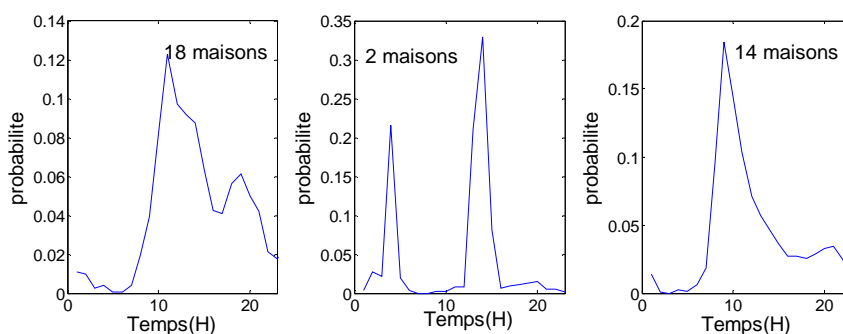


Figure 8. Trois types de la courbe de la probabilité de démarrage

Il est possible de corrélérer ces résultats en fonction par exemple du nombre de personnes dans la maison, en particulier le nombre de cycle dans une semaine qui en dépend fortement.

A partir de chaque densité de probabilité, une loi de probabilité (*normale, gamma, exponentielle, uniforme...*) peut être identifiée permettant de définir de manière très légère le modèle de simulation.

4.3. Modèle de simulation

Le modèle de simulation résultant, peut être complètement paramétré et décrit de manière analytique. Des simulations peuvent ainsi être menées, exploitant des tirages aléatoires de notre modèle, sur une semaine (Figure 9), puis sur une année (Figure 10). Si toutefois la simulation nécessite des résultats déterministes, les tirages probabilistes peuvent être réalisés avant simulation et exploités autant de fois que nécessaires durant les simulations.

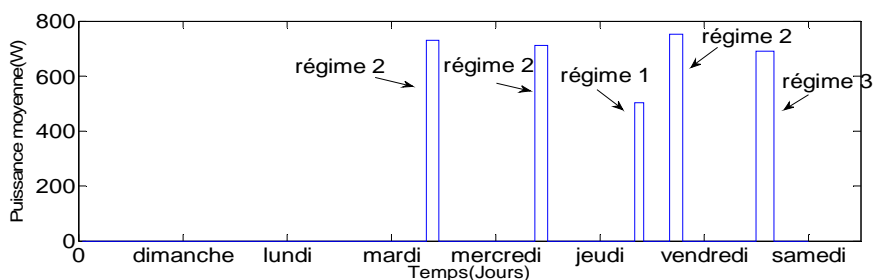


Figure 9. Simulation par tirage aléatoire sur une semaine

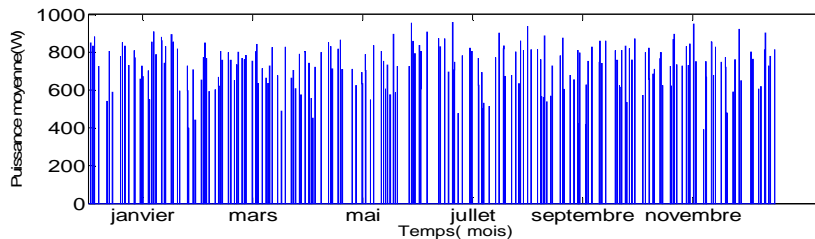


Figure 10. Simulation par tirage aléatoire sur une année

5. Conclusions

Nous avons développé une méthodologie permettant de construire des modèles statistiques probabilistes à partir d'analyse de données d'équipement électriques spécifiques. La méthodologie a été appliquée à différents équipements de différents types (*lave linge, cuisinière électrique, réfrigérateur, télévision*). Ces modèles permettent alors de simuler les équipements dans un modèle du système, à des pas de temps petit (*1 minute pour la gestion*). Cette simulation permet de connaître leur impact sur la consommation électrique (*pic de consommation*) et sur le comportement thermique du bâtiment (*modèle thermique de l'équipement*). Associé à ces modèles, des stratégies de gestion peuvent être simulées pour concevoir des algorithmes performants.

6. Bibliographie

- [ADM 10] ADEME, « Bâtiment - Energie et Environnement », *Collection CHIFFRES-CLES* 2010
- [SID 98] Cabinet O. Sidler. « Etude expérimentale des appareils électroménagers à haute efficacité énergétique placés en situation réelle ». Projet ECODROME Janvier 1998.
- [DAN 10] H. A. Dang, B. Delinchant, S. Gaaloul, F. Wurtz « Modélisation électrique d'une VMC double flux et optimisation de sa commande pour l'efficacité énergétique », *IBPSA-France*, Moret-sur-Loing, 9-10 novembre 2010
- [CRA 10] O. Craciun « Méthodologies de modélisation et simulation temps réel hybride pour l'analyse des réseaux électriques d'éclairage », thèse de l'université Joseph Fourier. Grenoble 2010.
- [LE 08] Ky LE. « Gestion optimale des consommations d'énergie dans les bâtiments ». Thèse de doctorat d'INP Grenoble. Le 10 Juillet 2008, Grenoble, France.

- [OCN 08] D. Ocnasu. « Modélisation, Commande et Simulation Temps-Réel Hybride des Systèmes de Génération Non Conventionnels ». Thèse de doctorat de l'université Joseph Fourier. 02/10/08, Grenoble.
- [RUZ 10] A.G. Ruzzelli, C. Nicolas, A. Schoofs, and G.M.P. O'Hare "Real-Time Recognition and Profiling of Appliances through a Single Electricity Sensor", *IEEE Secon 2010*.
- [HAW 10] L. Hawarah, M. Jacomino, S. Ploix. "User behavior prediction in energy consumption in housing". *Computer Science*, 2010, Volume 6113/2010, 372-379
- [ROB 10] D. Robinson, U. Wilke and F. Haldi "multi agent simulation of occupants presence and behaviour", *IBPSA'11*, Sydney, 14-16 Nov. 2011