



## Proposition de sujet de thèse

### « Modélisation en puissance des usages électriques domestiques en utilisant de l'Intelligence Artificielle »

#### 1. Synthèse

La thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre EDF R&D et le laboratoire CMLA de l'ENS Paris Saclay autour de la modélisation des usages électriques domestiques. La variété des équipements domestiques rencontrés ainsi que leur contexte d'utilisation tout aussi foisonnant nécessite de traiter un volume très conséquent de donnée. Dans ce contexte, l'utilisation de méthodes issues de **l'apprentissage automatique en Intelligence Artificielle** semble un bon moyen pour traiter ces données de mesures enrichies des connaissances sur les usages afin d'extraire les informations qui seront nécessaires pour atteindre l'objectif de modélisation.

Les résultats attendus pour cette thèse sont :

- un modèle fin, bottom-up, techno-explicite en puissance des usages spécifiques du secteur résidentiel français validé et opérationnel fondé notamment sur la mise en œuvre de techniques issues du monde de l'Intelligence Artificielle ;
- la mise en œuvre concrète de ce modèle dans des cas d'usages et en particulier pour des scénarios prospectifs d'évolution de la demande en puissance.

La formation du (ou de la) candidat (e) et compétences requises du (ou de la) candidate sont :

- Diplôme d'école d'ingénieur ou de 3<sup>e</sup> cycle universitaire.
- Compétences scientifiques indispensables : mathématiques appliquées, modélisation statistique, informatique scientifique, Machine Learning
- Programmation Python avancée et notamment maîtrise des bibliothèques Pandas et Scikit Learn, Keras Tensorflow

La thèse proposée se déroulera d'une part sur le site EDF Lab des Renardières à Moret-sur-Loing (Seine-et-Marne) au sein du Département Technologies et Recherche pour l'Efficacité Energétique à partir de septembre 2018 et au sein du CMLA de l'ENS Paris Saclay

Les candidat(e)s intéressé(e)s sont invité(e)s à transmettre une lettre de motivation et un CV par mail à :

- Mathilde Mougeot ([mathilde.mougeot@ensiie.fr](mailto:mathilde.mougeot@ensiie.fr)), directeur de thèse
- Christophe Denis ([christophe.denis@edf.fr](mailto:christophe.denis@edf.fr)), co-directeur de thèse
- Guillaume Binet ([guillaume.binet@edf.fr](mailto:guillaume.binet@edf.fr)), encadrant industriel.

## 2. Contexte industriel

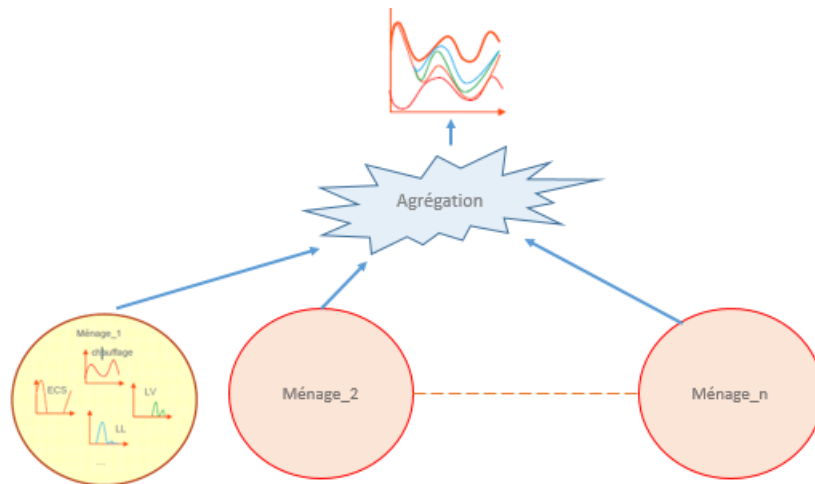
Les usages électriques domestiques ou usages spécifiques de l'électricité sont définis par l'utilisation de tous les équipements (réfrigérateurs, congélateurs, lave-linge, lave-vaisselle, sèche-linge, télévision, micro-informatique, multimédia...) dont le vecteur énergétique consommé pour rendre le service attendu ne peut être que l'électricité. À cela s'ajoute l'usage cuisson (plaque et four) qui, bien que non spécifique, possède des interactions fortes avec bon nombre d'appareils électrodomestiques. Ces usages non thermiques de l'électricité (hors chauffage et eau chaude sanitaire) représentent aujourd'hui plus de 80 TWh par an, soit plus de 50% de la consommation électrique finale du secteur résidentiel français. En quarante ans, la consommation d'électricité dédiée aux usages spécifiques par ménage a été multipliée par 2. Le haut niveau de cette demande semble se stabiliser depuis quelques années sous l'effet notamment de la pénétration de l'efficacité énergétique (étiquette énergie sur les équipements ménagers, sur les points lumineux...) et la substitution d'appareils (tablettes au lieu de PC fixes). Cette vision macroscopique recouvre néanmoins de fortes disparités entre ménages : par exemple jusqu'à un facteur 3 au sein d'une même catégorie et jusqu'à 4 pour l'ensemble de la population en fonction de profils d'équipements (quantitatifs et qualitatifs) des ménages.

Il est donc fondamental de construire une modélisation de ces usages spécifiques à la fois pour décrire finement le présent (demande actuelle) mais aussi pour être en mesure de prédire leur évolution aussi bien sur un plan technique (gains d'efficacité, changements de technologie...) que sur un plan comportemental (intensités d'utilisation). La connaissance et la modélisation en énergie (exprimée en kWh) de ce poste ont atteint un niveau satisfaisant. Par contre, la modélisation en puissance (kW en fonction du temps) de ces usages très diffus doit maintenant être adressée pour pouvoir répondre aux questions et enjeux à venir pour le secteur de l'énergie (autoconsommation des énergies renouvelables par exemple). Dans ce contexte, la modélisation visée est :

- **bottom-up** : elle part d'une unité de base non agrégée. Dans le cas de la thèse, celle-ci correspond à l'équipement électrique domestique individuel au sein d'un ménage. Ceci implique en particulier une différenciation en termes d'intensités d'utilisation ;
- **techno-explicite** : elle prend en considération les différences qui existent sur le plan technique entre les objets étudiés (par exemple, distinction est faite entre un réfrigérateur simple et un réfrigérateur congélateur).

La **Figure 1** présente le principe de la modélisation bottom-up techno-explicite. Cette approche permet de

- d'une part de comprendre finement la constitution et la construction de la courbe de charge et donc a fortiori la consommation ;
- d'autre part d'anticiper des ruptures technologiques ou d'usages dans des scénarios prospectifs ou de prévision, de quantifier les effets de pilotage de la demande.



**Figure 1** : Principe de la modélisation bottom-up et technico-explicite

Pour répondre à ce besoin, une approche purement physique n'est pas pertinente car la variété des équipements rencontrés, leur contexte d'utilisation tout aussi foisonnant ne peuvent être adressés que par une approche fondée sur l'observation en situation. Cependant, un tel paradigme nécessite un volume très conséquent de données de mesures et sous-tend une connaissance approfondie des ménages et des équipements.

Dans ce contexte, l'approche par **l'apprentissage automatique en IA** semble un bon moyen pour traiter ces données de mesures enrichies des connaissances sur les usages afin d'extraire les informations qui seront nécessaires pour atteindre l'objectif de modélisation.

En particulier, seront recherchés, pour chaque usage :

- en fonction de paramètres d'influence à déterminer (type de ménage, revenu...), l'identification de patterns d'utilisation (moments, intensités, associations, dépendances, conditionnalités...) visant à construire des chronogrammes d'activité journaliers ;
- l'identification et la classification, équipement par équipement, des cycles de fonctionnement en puissance circonstanciés (par classe d'efficacité, technologie, mode de fonctionnement...).

### 3. Objectifs industriels

La problématique de la puissance va confirmer son statut d'enjeu principal pour le secteur de l'énergie électrique dans les années qui viennent. En effet, notamment sous l'impulsion du développement des énergies intermittentes (ENR), la connaissance qualitative (quels appareils consomment) du moment où le kWh est consommé devient fondamentale. Ainsi, être en mesure de proposer une décomposition fine en puissance des 80 TWh que représentent les usages spécifiques de l'électricité est un objectif de premier plan.

Pour y parvenir, il s'agit de mettre en place une modélisation de la demande en puissance (courbe de charge) des équipements électriques domestiques possédés par les ménages français pour différentes échelles temporelles (de la journée à l'année), à pas de temps fin (à partir du dixième de minute) et pour tous les niveaux d'agrégats de population (du ménage jusqu'au national). Le canevas de reconstitution permet de projeter temporellement les ménages et leurs appareils suivant différents

scénarios (de prévision, de prospective) afin d'évaluer dans le temps l'impact en puissance des évolutions des parcs d'équipements électriques.

Cet objectif de modélisation nécessite :

- La mise au point d'un **générateur d'activités domestiques** à l'aide de techniques d'apprentissage issues du monde de l'intelligence artificielle ;
- La construction d'un **passage à l'échelle** cohérent (c'est-à-dire qui intègre la connaissance sur les ménages, leurs équipements, leurs consommations d'énergie...) via un **générateur de populations** (ménages associés à des équipements électriques) et une **projection temporelle** scénarisée des populations créées (renouvellement des équipements selon des lois de durées de vie, apparition et disparition d'équipements...);

Utiliser des techniques de Machine Learning pour **générer de nouveaux cycles unitaires de puissance cohérents et réalistes** des appareils électriques.

#### **4. Planning prévisionnel de la thèse (sans antériorité à partir de la seconde étape) :**

La première étape sera la réalisation d'une revue bibliographique qui adressera deux points :

- Les différentes modélisations en puissance des usages spécifiques de l'électricité. C'est un domaine en mouvement depuis quelques années car une vision dynamique et non plus seulement statique de la demande en énergie est recherchée ;
- L'identification de techniques d'IA pertinentes pour instruire la problématique. Ces techniques seront à investiguer bien au-delà du monde de l'énergie (imagerie médicale par exemple).

La seconde étape consistera en la construction du canevas global de la modélisation. Définition des entités ménages associées à des équipements, mise au point des mécanismes de projection temporelle (vie des équipements, des individus) garantissant une convergence entre le micro (le ménage) et le macro (données nationales, valeurs moyennes, distributions...).

La troisième étape visera, à partir de mesures fines en puissance, à l'échelle des équipements, réalisées au sein de ménages français choisis pour assurer un niveau minimal de représentativité, à mettre en œuvre les techniques issues du monde de l'IA pour constituer le cœur de la modélisation en puissance : chronogrammes d'activité, génération de cycles de fonctionnement.

La quatrième étape, instruira le passage à l'échelle : du ménage à des agrégats de population de différentes tailles, en déterminant les tailles critiques de groupements d'individus qui garantissent un foisonnement suffisant usage par usage.

La cinquième étape permettra de valider le modèle dans sa globalité par rapport aux données de référence connues sur les usages spécifiques du secteur résidentiel français.

Enfin, ces travaux trouveront leur aboutissement dans la réalisation d'un ou plusieurs scénarios prospectifs d'évolution de la demande en puissance.