

Offre de thèse :

Sobriété et flexibilité énergétique - Évaluer l'adaptation des ménages à l'aide de techniques de modélisation multi-agents (H/F)

Encadrement scientifique : LaSIE (Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement), La Rochelle Université, France

Jérôme LE DREAU (Université de La Rochelle, groupe de recherche LaSIE) - jl dreau@univ-lr.fr

Stéphane PLOIX (Grenoble INP) - stephane.ploix@grenoble-inp.fr

Contexte

Les bâtiments à énergie flexible peuvent favoriser l'intégration des sources d'énergie renouvelables dans le bouquet énergétique national en modulant leur consommation d'énergie. La modulation de la consommation d'énergie des bâtiments neufs et existants pourrait apporter de la flexibilité au réseau électrique français. Malgré un potentiel important, un certain nombre de problèmes empêchent le déploiement de cette technologie : l'identification des sources de flexibilité pertinentes, la communication, la confidentialité, la rentabilité, le contrôle et la fiabilité de la réponse. Dans le secteur du bâtiment, une étude du Conseil général de l'économie a identifié les principaux leviers de flexibilité dans les immeubles de bureaux et les bâtiments résidentiels (*tableau 1*). La majeure partie du potentiel de flexibilité provient de l'utilisation de l'énergie thermique, soit pour chauffer ou refroidir les espaces, soit pour produire de l'eau chaude. En effet, les systèmes CVC représentent environ 25 % et 30 % de la consommation d'électricité, respectivement dans les secteurs tertiaire et résidentiel. Les appareils humides (lave-vaisselle, lave-linge, sèche-linge) et la cuisson ont également été identifiés comme une source de flexibilité. Outre les bâtiments, les véhicules électriques peuvent également contribuer à la transition des réseaux électriques, avec une réduction de la pointe estimée à 10 GW d'ici 2050.

	Déplacement de consommation (TWh/an)	Pointe de consommation évitée (GW)
Tertiaire		
Chauffage, ECS, climatisation	15	10
Habitat		
Chauffage	10	20
ECS	13	6
Produits blancs	2	1
<i>Total habitat</i>	25	27
Total bâtiments	40	37

Tableau 1 : Identification des principaux potentiels de flexibilité dans le secteur du bâtiment d'ici 2050 [CGE, 2020] [RTE, 2020]

Ce potentiel de flexibilité peut ensuite être contrôlé de différentes manières, soit en diffusant des tarifs/signaux dynamiques aux utilisateurs finaux (flexibilité implicite), soit en contrôlant directement des dispositifs spécifiques par un agrégateur (flexibilité explicite). Les tarifs ou signaux sont considérés comme un moyen pratique de transmettre les informations du réseau, mais différents niveaux de dynamique peuvent être proposés, allant de

l'heure d'utilisation aux signaux en temps réel. En outre, l'utilisation de la flexibilité peut être observée dans différentes perspectives temporelles, allant de changements structurels dans les modèles de consommation à une activation exceptionnelle en cas de risque de pénurie (figure 1). Au cours de l'hiver 2022-2023, des changements structurels dans les pratiques ont pu être observés en raison de l'augmentation du prix de l'énergie, avec une diminution de la consommation d'énergie d'environ 7-8% [Ademe, 2024a]. Plus précisément, trois principaux comportements adaptatifs ont été observés : une baisse de la température du foyer et une diminution de la consommation d'eau chaude et d'éclairage [Ademe, 2024b].



Figure 1 : Différents types de flexibilité pour différents objectifs [RTE, 2023]

Le sujet de la proposition de doctorat est lié à la **modélisation du comportement des occupants, et plus particulièrement au comportement adaptatif à partir de signaux indirects** (par exemple, les niveaux de prix de l'énergie et/ou les signaux externes). L'accent sera mis sur l'intégration des aspects des sciences sociales et psychologiques afin de mieux refléter le comportement des occupants [Li et al., 2019] et sur la validation avec des données empiriques [Berger et Madavi, 2020].

Sujet de thèse et objectifs

Le comportement des occupants est connu pour avoir une grande influence sur la consommation d'énergie des ménages et se caractérise par une forte variabilité d'un individu à l'autre mais aussi pour un même individu [Albouys-Perrois, 2022]. Une grande diversité peut être observée au sein de la population, qui peut s'expliquer en partie par les caractéristiques socio-économiques et les caractéristiques du logement. Afin de mieux comprendre les occupants, des mesures sur le terrain, des enquêtes et des entretiens ont été réalisés. Des modèles ont également été développés pour évaluer et prédire le comportement des occupants. Les outils de simulation sont d'une importance capitale pour les entreprises de services publics et les opérateurs de réseaux afin d'évaluer l'impact des nouvelles technologies ou d'évaluer les changements de comportement. Différents types de modèles peuvent être trouvés dans la littérature : déterministes, basés sur des données, stochastiques et à base d'agents [Dabirian et al., 2022]. Parmi eux, les modèles basés sur des agents ont attiré l'attention ces dernières années en raison de leur capacité et de leur flexibilité à capturer l'hétérogénéité et la dynamique du comportement humain ainsi que les effets émergents [Malik, 2022a]. Les modèles à base d'agents sont essentiellement des modèles de simulation informatique, dans lesquels chaque agent évalue individuellement sa situation/son environnement et prend des décisions sur la base de règles [Bonabeau, 2002]. Plus récemment, quelques modèles à base d'agents ont également été développés pour modéliser la flexibilité explicite des ménages [Vellei et al., 2021] [De Vizia et al., 2022].

Dans des travaux de recherche antérieurs, nous nous sommes concentrés sur le développement de modèles du potentiel de flexibilité des appareils électroménagers [Vellei et al., 2020] et du chauffage des locaux [Vellei et al., 2021] pour un ménage moyen, ainsi que sur la modélisation du comportement réactif des occupants face à des signaux externes [Kashif, 2014] [Simoiu, 2023]. **Dans ce travail, nous intégrerons un modèle à base d'agents l'adaptation des ménages en réponse à des signaux externes (par exemple le prix, l'information).**

Des modèles multi-agents réactifs bayésiens réalistes de maisons comprenant des modèles d'occupation et d'activité ainsi que des réactions d'utilisation d'équipements aux demandes de flexibilité seront produits. Ils seront basés sur des hypothèses de réaction réalistes. Le processus d'apprentissage des ménages sera modélisé afin de

mieux évaluer le potentiel de la flexibilité indirecte. Le travail proposé consiste principalement en des simulations, mais s'appuiera sur des données collectées à l'échelle nationale (pour évaluer les élasticités des prix) et des mesures au niveau des ménages (provenant de l'OTE et d'autres études sur le terrain). Les résultats seront utilisés pour identifier le plus grand potentiel de flexibilité (quels types de ménages offrent le plus de flexibilité ?) ainsi que les menaces possibles (les tarifs dynamiques peuvent-ils conduire à une augmentation de la précarité énergétique ou des inégalités sociales ?)

Les questions de recherche suivantes peuvent être formulées :

- Comment s'équilibrent le confort et les dépenses énergétiques des ménages ?
- Quelles dynamiques peuvent être observées en modélisant l'évolution des perceptions et des comportements des agents au fil du temps ? Quelles sont les constantes de temps du changement ?
- quels signaux envoyer à quels groupes de consommateurs afin d'obtenir la réduction/augmentation désirée durant une période souhaitée ?
- Quels sont les leviers d'action pour les différents types de ménages (selon le revenu, l'âge, le niveau d'isolation des bâtiments, l'activité) ?
- Quelle est l'influence du comportement adaptatif sur la courbe de charge nationale (capacité à moduler la demande et les pics de demande) ?
- Différentes approches de clustering pourront permettre de regrouper les ménages pour permettre à un agrégateur de cibler les destinataires de messages de demande de flexibilité en fonction de leur besoin.

Au-delà du travail consacré à la réalisation du projet scientifique, des actions de collaboration et des tâches de diffusion sont attendues, notamment :

- collaboration entre les partenaires scientifiques du projet FlexTASE ;
- la promotion des résultats par la participation à des conférences et des publications dans des revues.

Organisation des travaux de recherche

Au cours des premiers mois du doctorat, le candidat proposera un plan de travail détaillé pour la thèse sur la base de l'examen de l'état de l'art. Une première proposition peut être trouvée ci-dessous :

- L'état de l'art
 - o Identification des principaux leviers et moteurs de l'utilisation de l'énergie, des limites en termes d'adaptation
 - o Modélisation de l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments résidentiels, y compris les aspects socio-techniques
 - o Définition d'indicateurs clés de performance pour évaluer l'adaptabilité des ménages (perte de confort/services due au développement de la flexibilité)
- Développement de l'environnement de simulation
 - o Définition des archétypes
 - o Développement d'un outil de co-simulation couplant le modèle à base d'agents avec un modèle énergétique de bâtiment
 - o Intégration de la perception du confort et des désirs des agents, et développement du module d'apprentissage pour modéliser le comportement adaptatif.
 - o Validation avec des données de terrain
- Analyse du potentiel de flexibilité
 - o Évaluation de la variabilité du potentiel pour différentes catégories de ménages
 - o Analyse du comportement émergent des agents et proposition de critères de regroupement des clients
 - o Validation de l'intérêt des groupes d'agents pour mieux répondre aux besoins des agrégateurs.

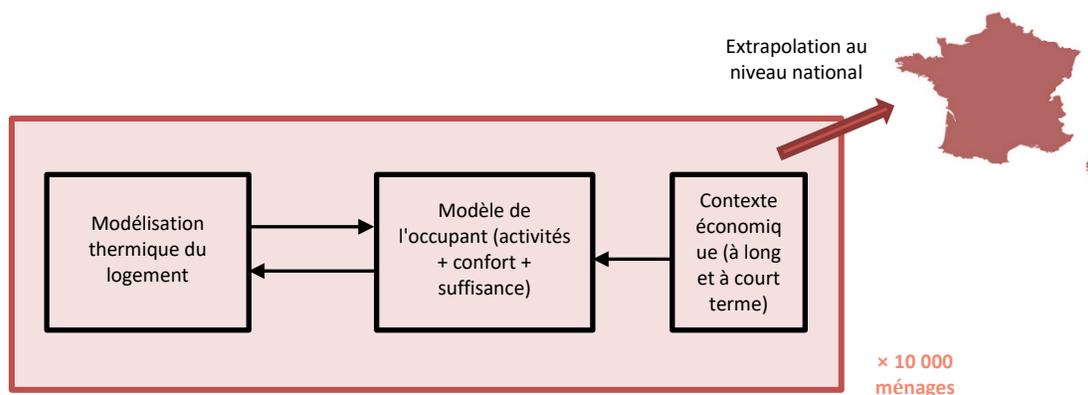


Figure 2 : Vue d'ensemble du cadre de modélisation.

Compétences attendues

Titulaire d'un master ou d'un diplôme d'ingénieur, le ou la candidat(e) devra posséder des compétences dans les domaines de l'énergie du bâtiment et dans l'analyse de données. Des bases en programmation scientifique seront nécessaires (e.g. Python ou Matlab). Des connaissances en modélisation thermique seraient appréciées (e.g. EnergyPlus). La maîtrise orale et écrite de l'anglais est requise. Par ailleurs, le ou la candidate devra se montrer curieux et autonome. Des déplacements ponctuels sont à prévoir en France ou à l'étranger, pour des réunions ou des séminaires.

Contexte de travail et conditions d'emploi

Le chercheur sera basé au le LaSIE (Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement), une unité mixte de recherche CNRS-La Rochelle Université (UMR 7356). L'unité réunit un large spectre de compétences avec des approches intégrées depuis l'échelle atomique jusqu'au matériau, au bâti et son environnement à différentes échelles de temps et d'espace. Le chercheur travaillera sous la responsabilité d'un enseignant-chercheur et en collaboration avec un autre chercheur. Il sera intégré à l'équipe de recherche Bâtiments et Ville Durable (BVD) du Laboratoire LaSIE.

Type de contrat : Contrat à durée déterminée de 3 ans

Rémunération : elle est définie par l'[arrêté du 29 août 2016](#) modifié, fixant le montant de la rémunération du doctorant contractuel

Localisation : poste basé à La Rochelle Université au sein du laboratoire. Des déplacements sont à prévoir

Projet connexe

Cette proposition de thèse sera réalisée dans le cadre d'un vaste projet national français PEPR TASE (Programme et Équipement Prioritaire de Recherche, thématique Technologies Avancées des Systèmes Energétiques), et plus spécifiquement sur le thème " Gestion efficace et flexible des systèmes énergétiques en présence d'une part massive d'énergies renouvelables ".

Le projet de recherche FlexTASE (ANR 22-PETA-0009) rassemble 7 groupes de recherche pour promouvoir le développement de la flexibilité directe et indirecte. L'objectif des acteurs de la recherche impliqués est de créer une dynamique de recherche qui reconnaisse la nécessité d'aborder la question de la flexibilité avec une approche scientifique innovante, en en faisant un objet technique mais aussi social à aborder avec une approche multidisciplinaire qui nécessite une nouvelle approche paradigmatique.

Comment candidater ?

Votre dossier doit impérativement comprendre :

- lettre de motivation
- curriculum vitae détaillé
- copie du diplôme
- recommandations
- relevés de notes de master

Ce dossier doit être adressé par mail à Jérôme LE DREAU (jledreau@univ-lr.fr) et Stéphane PLOIX (stephane.ploix@grenoble-inp.fr).

AUCUN DOSSIER INCOMPLET NE SERA ETUDIÉ

Date limite de candidature : 31/08/2024

Processus de recrutement : candidatures traitées au fil de l'eau (début souhaité au 1^{er} Septembre 2024)

Mots-clés

Modélisation des comportements des occupants ; Analyse de données ; Flexibilité énergétique ; Gestion active de la demande ; Parc de bâtiments ; Prédiction de la courbe de charge

Références

Ademe - Sobriété énergétique des bâtiments résidentiels (2024)

Ademe, Panel élecdom an 4, 2024

Kashif, Ayesha, Modélisation du comportement humain réactif et délibératif avec une approche multi-agent pour la gestion énergétique dans le bâtiment, Doctorat de Grenoble Alpes, <https://www.theses.fr/2014GRENM030>, 2014.

Csereklyei, Z. Elasticités des prix et des revenus de la demande d'électricité résidentielle et industrielle dans l'Union européenne. *Energy Policy* (2020), 137, 111079.

Conseil Général de l'Economie, Flexibilité du système électrique : contribution du pilotage de la demande des bâtiments et des véhicules électriques, 2020.

Conseil d'analyse économique, Performance énergétique du logement et consommation d'énergie : les enseignements des données bancaires, 2024.

RTE, Groupe de travail 7 " Flexibilité " Cadrage des hypothèses sur les gisements de flexibilité de la demande, 2020.

RTE, Bilan prévisionnel Édition 2023 - Futurs énergétiques 2050 - 2023-2035 : première étape vers la neutralité carbone, 2023.

ONPE, Les chiffres clés de la précarité énergétique, 2023.

Simoiu, Mircea, Human-centered control systems : application to energy communities, Doctorat de l'Université Grenoble Alpes, <https://theses.hal.science/tel-04416509v1>, 2023.

Vellei M., Le Dréau J., Abdelouadoud Y., Predicting the demand flexibility of wet appliances at national level : the case of France (2020). *Energy and Buildings*, 214, 109900.