



HAL
open science

Les comportements énergétiques des ménages franciliens : modélisation et spatialisation

Margot Pellegrino, Jean-Pierre Lévy

► **To cite this version:**

Margot Pellegrino, Jean-Pierre Lévy. Les comportements énergétiques des ménages franciliens : modélisation et spatialisation. Caroline Gallez et Olivier Coutard, . Vers une France post-carbone ? Freins et leviers d'une transition énergétique régionale, Éditions L'Œil d'or, coll. Critiques et Cités, pp.239-260, 2023, 978-2-490437-23-8. hal-03292162

HAL Id: hal-03292162

<https://hal.science/hal-03292162>

Submitted on 18 Oct 2023

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.

Préprint de Pellegrino M., Lévy J.-P., « Les comportements énergétiques des ménages franciliens : modélisation et spatialisation », dans Gallez C. et Coutard O., *Vers une Île-de-France post carbone ? Freins et leviers d'une transition énergétique régionale*, Paris, L'oeil d'or, 2023, pp. 239-260

LES COMPORTEMENTS ÉNERGÉTIQUES DES MÉNAGES FRANCILIENS : MODÉLISATION ET SPATIALISATION

Margot Pellegrino (Lab'Urba), Jean-Pierre Lévy (CNRS/LATTS)

Introduction

Dans le contexte de la transition énergétique les décideurs (opérateurs et responsables politiques) sont conduits à élaborer des actions visant à réduire les consommations énergétiques des bâtiments résidentiels et tertiaires responsables de plus de 40% [SOes 2014] des émissions de gaz à effets de serre. Dans ce contexte, les régions sont mises à contribution. Cela passe notamment par une planification régionale qui se fixe pour objectif de chiffrer, à différents horizons temporels, i) la contribution attendue du secteur résidentiel à la réduction des consommations globales ; ii) la consommation attendue par type de logement, neuf et à réhabiliter ; iii) le nombre et la qualité de logements à produire et à réhabiliter pour parvenir aux réductions programmées. Dans ce cadre, la région Île-de-France a prévu de construire 70 000 logements par an et d'en réhabiliter, 180 000 par an entre 2020 et 2050.

Néanmoins, un flou demeure sur l'impact de ces constructions sur la diminution de la consommation énergétique des bâtiments. D'une part, les méthodes d'estimation des consommations restent floues. D'autre part et surtout, les approches présentées ne précisent pas les types de logement à construire ou à réhabiliter dont on peut penser qu'ils ont un impact sur le peuplement et donc sur les modes de vie. Par ailleurs, au-delà du nombre de logements à construire, les documents de planification s'accordent sur la nécessité d'un changement de ces derniers.

L'objectif de ce chapitre est de proposer une méthode de modélisation des comportements énergétiques domestiques prenant en compte les relations entre ces derniers, les ménages et les logements, ainsi que leurs évolutions spatiales et temporelles. Dans un premier temps, sur la base d'analyse de documents institutionnels (SRCAE et SDRIF) et de quelques entretiens auprès des acteurs ayant participé à leur élaboration, nous présenterons les orientations programmatiques mobilisant l'habitat et le logement en région Ile de France pour réduire de façon significative les émissions de GES. Nous mobiliserons ensuite les résultats d'un ensemble de travaux portant sur la modélisation et la localisation des comportements domestiques à retombée énergétique sur la région. Nous concluons en confrontant nos résultats aux attendus des programmes énergétiques. Cette double observation a pour objectif une réflexion critique sur les méthodes d'élaboration des modèles sur lesquels repose la construction de ces politiques.

Les politiques en débat

Au niveau régional, deux documents principaux structurent les orientations des politiques de transition énergétique : le Schéma directeur de la Région Ile de France (SDRIF) et le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE). Ils ont en commun de

consacrer une large part de leurs propositions à la question du logement neuf et de la réhabilitation des immeubles énergivores.

Le SDRIF

Le SDRIF est composé de six documents visant à définir le développement régional en tenant compte des impératifs du développement durable dans l'occupation du territoire, du déplacement de ses habitants et du développement régional. Les questions du logement et d'aménagement urbain à l'horizon 2030 sont fortement associées et sont au cœur des perspectives proposées par le SDRIF. Il s'agit notamment de maintenir le rayonnement international de la métropole dans un souci d'équité sociale et territoriale.

Plus précisément les propositions du SDRIF partent du constat d'une aggravation d'une crise du logement dans la Région. Il souligne les difficultés d'accès au logement social pour les ménages les plus précaires (406 000 demandeurs en 2010 dont 70% au cœur de la métropole) ; le maintien d'un nombre de copropriétés dégradées élevé et d'un habitat insalubre, l'apparition de bidonvilles, même si le parc immobilier régional s'inscrit dans une tendance globale à l'amélioration. Ces poches de pauvreté sont spatialement concentrées : 200 communes concentrent 90% du parc social et 185 communes de plus de 15 000 habitants n'atteignent pas de 20 à 25% de logements sociaux fixés par la loi SRU.

Les tensions foncières poussent les couches moyennes, les ouvriers et les employés en dehors des espaces centraux. On voit ainsi apparaître de nouveaux territoires populaires notamment en Seine-et-Marne et dans l'Essonne. Cette situation produit un cumul des inégalités. Dans les mobilités tout d'abord où 21% des ménages résidant hors de la capitale ne sont pas motorisés ce qui produit des difficultés dans l'accès à l'emploi. Au niveau social ensuite, 1,4 million de personnes soit 12,5% de la population francilienne vivent sous le seuil de pauvreté. Inégalités environnementales enfin : entre 8% et 10% des ménages sont en situation de précarité énergétique.

Face à cette situation le SDRIF se fixe cinq objectifs prioritaires pour la région, dans les domaines du logement, de la mobilité et de l'emploi, dans la perspective d'un nouvel aménagement urbain.

Le premier vise à développer et stimuler une politique possible de production de logements en visant la construction de 70 000 logements par an (1,5 million à construire entre 2013 et 2030, dont 30% de logements sociaux) L'objectif est de maintenir les équilibres démographiques face notamment aux séparations et recompositions familiales ; permettre la réalisation de parcours résidentiels choisis pour chaque habitant afin de répondre aux aspirations en matière de logement et de cadre de vie ; résoudre les inégalités d'accès au logement.

Le deuxième est la lutte contre la disparité démographique avec l'ambition de mieux distribuer les logements sociaux sur le territoire francilien, développer la mixité sociale en diversifiant l'offre de logements dans les secteurs où elle homogène.

Le troisième objectif consiste en réhabiliter le parc existant pour permettre à chacun de disposer d'un logement aux normes de confort et d'adapter l'espace domestique à des modes de vie moins énergivores, sans préciser à quoi cela renvoie dans l'usage du logement.

Le quatrième vise à densifier le territoire en freinant l'extension péri-urbaine en s'appuyant sur les pôles urbains desservis par les transports et en reconstruisant la ville sur elle-même en privilégiant la construction sur les territoires déjà urbanisés, tout en respectant les enjeux de la qualité de l'air et l'adaptation au changement climatique.

Le dernier objectif vise à améliorer les conditions d'accès à l'emploi pour réduire les temps de transport domicile-travail des actifs, en créant des logements dans les secteurs riches en emplois et en favorisant la création d'emplois dans les zones résidentielles.

Pour mettre en œuvre ces objectifs dans le domaine du logement, le Schéma directeur prévoit la production de 70 000 logements par an en moyenne, soit près de 1,5 million d'unités en 2030. En outre, pour lutter contre la concentration spatiale de la pauvreté et favoriser la mixité sociale, 30% de ces constructions seront des logements sociaux, les logements privés étant quant à eux davantage concentrés à l'Est et au Nord de la région pour rattraper le dynamisme actuel de l'Ouest francilien. En parallèle aux constructions, et pour répondre aux mises aux normes énergétiques, 125 000 logements seront réhabilités chaque année. La logique est de « Privilégier la réhabilitation par rapport à la démolition – reconstruction, réutiliser les déchets de chantiers sur site notamment dans le cadre de chantiers structurants, privilégier le recyclage, rééquilibrer les installations de stockage de déchets inertes » (doc 4 p.191).

En ce qui concerne la densification du territoire, le SDRIF prévoit de construire des logements en évitant les secteurs trop urbanisés même s'ils doivent participer à l'effort global. En conséquence, 75% de cette production s'effectuera dans les espaces déjà urbanisés en s'adaptant aux densités existantes (Paris et la proche couronne), la production restante sera localisée dans les secteurs d'urbanisation nouvelle prévus par le Schéma, en privilégiant les zones connaissant une forte dynamique d'emplois. En dehors du logement, les activités nouvelles seront développées sur des territoires encore peu équipés. En tout état de cause le SDRIF prévoit une densification raisonnée de l'espace rural autour soit de villes historiques (Meaux, Melun, Mantes, Rambouillet, Étampes, Fontainebleau, Montereau-Fault-Yonne, Provins), soit des pôles assurant traditionnellement une fonction de centralité (notamment Coulommiers, Dourdan, Milly-la-Forêt, La Ferté-sous-Jouarre, Nangis, Louvres-Puiseux).

Enfin, pour améliorer les conditions d'accès à l'emploi le SDRIF entend promouvoir la multipolarité à proximité des gares et des pôles intermodaux, en lien avec les réseaux de transports en commun existants ou en développement. Plus précisément, il s'agit de valoriser des secteurs situés dans un rayon de l'ordre de 2 kilomètres autour d'une gare. Les villes centres bénéficiant d'une liaison ferrée serviront de point d'appui à la polarisation de logements. L'idée est de produire des logements locatifs à proximité de nœuds de transports pour faciliter la mobilité des jeunes actifs et éviter le recours à la voiture. Le SDRIF affirme que les efforts de densification autour des pôles de gares couvriront entre 50 et 70 % du territoire des départements des Hauts-de-Seine, du Val-de-Marne et de Seine-Saint-Denis et entre 4 et 12 % des départements de l'Essonne, du Val-d'Oise, des Yvelines et de Seine-et-Marne.

En résumé, les objectifs et les moyens du SDRIF visent à défendre un rééquilibrage des dynamiques régionales en favorisant l'équité socio-territoriale dans le contexte d'une transition énergétique et écologique. Il privilégie une action s'appuyant sur la production du logement, une densification de la ville sur elle-même respectueuse de son environnement et de la biodiversité, le rapprochement domicile-travail ou, à défaut, le recours aux transports doux en limitant l'usage de la voiture. Pour autant, des flous et des incertitudes demeurent sur la quantification du nombre de logements à produire ou à réhabiliter. Si l'affirmation d'une réduction des émissions de GES et de la production de la qualité de l'air est mise en avant, les moyens d'y parvenir restent centrés sur la réhabilitation du parc énergivore, la construction de logements énergétiquement vertueux, la mobilité douce, au détriment d'une connaissance des comportements énergétiques,

alors qu'il préconise une production de logements adaptés à des modes de vie moins énergivores.

Le SRCAE

Les SRCAE ont été instaurés par les lois Grenelle I et II qui leur attribuent comme fonction de fixer des objectifs régionaux en termes de développement des énergies renouvelables, d'amélioration de l'efficacité énergétique, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'amélioration de la qualité de l'air. Les SRCAE ont vocation à identifier, pour la première fois au sein d'un même document et à l'échelle régionale, les potentiels et les orientations permettant de contribuer à l'atteinte des objectifs nationaux, européens et mondiaux sur ces enjeux climat, qualité de l'air et énergie.

Le SRCAE de l'IdF s'appuie sur de nombreuses études préalables et constitue un cadre de référence autant qu'une boîte à outils pour les nombreuses collectivités franciliennes réalisant des Plans Climat Air Energie Territoriaux en Ile-de-France (PCAET), qui déclineront les orientations et les objectifs des SRCAE en programme d'actions. D'autres outils de planification et de programmation locaux devront prendre en compte ces orientations (PLU et PLH entre autres) ; elles devront irriguer également les actions d'urbanisme opérationnel (opérations d'aménagement comme les ZAC, les Nouveaux Quartiers Urbains ou les écoquartiers) ou d'urbanisme individuel (permis de construire, autorisations).

A l'échelle régionale, spécialement en Ile-de-France, le SRCAE est élaboré en cohérence avec les autres outils de planification (SDRIF, PDUIF). Il constitue ainsi une opportunité pour revisiter ces documents et donner lieu à une prise en compte plus systématique et approfondie des questions énergétiques, climatiques et de qualité de l'air.

Le SRCAE francilien part d'une analyse critique de la situation énergétique régionale, notamment dans le secteur du logement et du bâtiment résidentiel. Ce secteur représente en effet 33% des émissions de GES¹. Avec le secteur tertiaire, les bâtiments résidentiels contribuent à 60% des consommations énergétiques de l'IdF. Ce taux élevé s'explique par la mauvaise qualité énergétique du parc : à peine 20% des résidences principales (soit près de 935 000 logements) sont classées en étiquette DPE de classe énergétique A, B ou C, ce qui est inférieur à la moyenne française (24%). Du point de vue du parc privé, 55% des maisons et 44% des logements collectifs se retrouvent en catégorie E, F ou G. De son côté, le parc social obtient de meilleures performances énergétiques puisque seulement 34% du patrimoine se retrouve dans ces mauvaises classes. Au final, ce sont plus de 2,1 millions de logements (soit 45%) qui appartiennent aux classes les plus énergivores, avec des consommations comprises entre 230 et 450 kWh/m²/an.

Les logements anciens, principalement ceux construits avant 1975 (date de la première réglementation thermique), sont particulièrement énergivores. Sur ces bâtiments, les potentiels de réduction des consommations énergétiques seraient importants à travers la réhabilitation. Mais la dynamique de rénovation « diffuse » du parc est faible : elle ne

¹ Le secteur des bâtiments résidentiels représente 33% des émissions de GES. L'importance de ce secteur en termes d'émissions constitue une spécificité régionale, tout comme celle du secteur tertiaire, qui représente 17% des émissions régionales. Vient ensuite le secteur des transports, qui représente 32% des émissions (dont plus des 2/3 pour le transport de personnes). Plus de 80% du volume d'émissions du secteur est imputable aux modes routiers, notamment aux véhicules particuliers, aux véhicules utilitaires et aux poids lourds. Le secteur industriel représente 10% des émissions. Pour une présentation plus détaillée des objectifs du SRCAE, voir le chapitre 1.

concerne chaque année qu'entre 0,9% et 1% du parc résidentiel (soit 40 000 à 45 000 lgts/an). Plus précisément, le SRCAE a pour objectif d'intensifier autant quantitativement que qualitativement les travaux de rénovation énergétique. Cela nécessitera une multiplication par 3 du rythme de réhabilitation annuel, pour atteindre 125 000 lgts/an (2,5% du parc/an) à l'horizon 2020 et 180 000 lgts/an à l'horizon 2050. Le schéma précise le type de logement concerné : 40 000 logements/an sur le parc de maisons individuelles ; 35 000 logements/an sur le parc social ; 50 000 logements /an sur le parc collectif privé. Au-delà de ces chiffres, le SRCAE nous fournit des indications sur la distribution des types de réhabilitation à mettre en œuvre : 40% de « petites » réhabilitations (se limitant à un seul geste sur les fenêtres ou sur les systèmes) ; 35% de réhabilitations « intermédiaires » (permettant 25% à 30% d'économies d'énergies) ; au moins 25% de réhabilitations « importantes » (de niveau « BBC»). Mas il ne nous dit rien quant à leur spatialisation : les données n' « atterrissent » jamais sur le territoire francilien ».

Pour aboutir à ces objectifs le SRCAE utilise une approche de *backcasting* et identifie 4 scénarios prospectifs aux horizons 2020 et 2050 (scénario Pré-Grenelle, Tendanciel, Objectif « 3x20 » et Objectif « facteur 4 »). Pour cela il a été considéré dans les modèles qu'une intervention sur la matérialité urbaine (réseaux, bâti, infrastructure, etc.) permettrait d'atteindre 95% des objectifs de réduction des consommations énergétiques. Ces estimations reposent sur des approches déductives et sur les bases de données existantes et globales (DPE, Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Ministère en charge de l'Energie, etc.).

De ce fait, le SRCAE estime que les changements de comportement des ménages participent à hauteur de 5% dans la baisse des consommations. Pour ce faire, il considère que les ménages doivent adopter un ensemble de bonnes pratiques supposées efficaces. Contrairement au SDRIF, il précise à quoi cela se réfère : réduire la température de consigne à 19°C au lieu de 22°C, éteindre les équipements au lieu de les laisser en veille, tenir compte des étiquettes énergie lors de l'achat des appareils électroménagers, veiller à l'entretien du réfrigérateur etc.

Les entretiens auprès des ingénieurs du BE ayant été chargé de l'élaboration du modèle de prévision pour le SRCAE nous permettent de mieux comprendre la façon dont ces chiffres ont été construits. Sans entrer dans le détail du mode de calcul des nombreux paramètres qui nourrissent la maquette du SRCAE, il est important de souligner l'hétérogénéité de ces données en termes de sources de provenance, de granulométrie et de niveau d'agrégation, d'échelle à laquelle elles interviennent, de modalités de collecte et/ou création, etc. Il nous semble également important de préciser que le choix de l'utilisation de certaines variables repose sur leur disponibilité, voire sur leur existence même, à l'échelle souhaitée. Par exemple, pour estimer la consommation énergétique du secteur résidentiel, des hypothèses de consommation ont été dans un premier temps appliquées à différentes catégories de bâtiments (maison individuelle construite en telle année, immeuble collectif de tel type, etc.), en partant d'études existantes (une thèse en histoire de l'architecture, des hypothèses internes au BE porteur du modèle, des données du SOES, etc.), ainsi que d'échanges avec la DRIEE. Dans un deuxième temps, il a été nécessaire de reconstruire le bilan énergétique des bâtiments à partir de leurs caractéristiques. Cette étape a permis de lier la consommation du bâti avec son état². Et puis, pour produire les scénarios, il a fallu construire un deuxième jeu d'hypothèses

² L'état du parc résidentiel a été décrit à partir de l'enquête logement de l'INSEE, enquête datant 1999 et mise à jour partiellement tous les trois ans, qui donne des données très détaillées sur le type de logement, l'année de construction, etc.

faisant évoluer les paramètres initiaux, notamment en ce qui concerne l'estimation des gains énergétiques dus aux opérations de rénovation (en s'appuyant sur la base de données SITADEL et sur les données concernant le crédit d'impôts pour travaux de rénovation, mais également sur des simulations internes au BE). En d'autres termes, la maquette du SRCAE permet de faire tourner un jeu d'hypothèses multisectoriel et hétérogène, auquel peuvent se greffer d'autres réflexions plus fines sur telle ou telle hypothèse précise. L'un des interviewés a d'ailleurs défini cela comme « une vision macro, avec des ramifications qui correspondent chacune à une question posée ».

Deuxièmement, les entretiens ont permis de saisir l'importance des échanges et des discussions avec les acteurs politiques et institutionnels afin de tester et arbitrer sur les choix des éléments constituant les scénarios, mais également et surtout afin de consolider les hypothèses de départ et de hiérarchiser les priorités d'interventions. Par exemple, les objectifs initiaux concernant la réduction des émissions de GES ont été revus à la baisse au cours des échanges avec les acteurs politiques et institutionnels car estimés trop ambitieux. La prise en compte des modes de vie a également été objet de débat. Dans la plupart des SRCAE élaborés dans d'autres régions, aucun pourcentage de réduction des émissions n'est attribué au changement de comportements. Pour le SRCAE IdF, au cours des échanges et arbitrages avec les acteurs, la question a été posée. Les hésitations ont été finalement vaincues car la contribution de cette variable s'est avérée nécessaire pour atteindre les objectifs globaux. Le pourcentage de 5% attribué découle donc d'arbitrages politiques et ne repose pas sur des observations empiriques ou sur des tendances observées.

Enfin, il a été possible d'identifier certains sujets particulièrement sensibles qui, relevant d'enjeux nationaux et pas régionaux, n'ont finalement pas été quantifiés et intégrés au jeu de données à la base du SRCAE. C'est le cas des émissions de GES du secteur aérien, ou encore de la production d'énergie nucléaire. Le mix énergétique n'est pas remis en question dans le SRCAE : la part du nucléaire reste constante dans le scénario tendanciel³. Pour cette même raison, les émissions de GES sur la production d'électricité sont calculées en énergie finale et attribuées aux usages et non pas aux producteurs de cette énergie, à partir d'une grille des facteurs d'émission produite par l'ADEME.

Comprendre, modéliser et spatialiser les comportements énergétiques à l'échelle régionale

Le SRCAE repose donc sur des approches qui, comme tout modèle, ne reflètent qu'une partie de la réalité. Dans le contexte du processus de consommation énergétique, nous observons qu'au moins deux aspects essentiels ont été peu ou mal pris en compte. Premièrement, les approches présentées ne précisent pas les types de logement à construire ou à réhabiliter et leurs impacts sur le peuplement résidentiel. Deuxièmement, le lien entre les caractéristiques des logements et des bâtiments, celles des ménages et les usages énergétiques est ignoré, alors que ce document accorde une place importante, bien que numériquement modeste, à la nécessité d'un changement des modes de vie des habitants. Pourtant, il est possible d'envisager des modélisations de comportements moins déductives et plus inductives, à partir d'enquêtes fines auprès des ménages. C'est tout l'objectif de nos recherches visant à associer les résultats d'observations empiriques à la

³ Pour une présentation plus détaillée, voir le chapitre 1.

modélisation statistique pour aborder d'un point de vue qualitatif, quantitatif et spatialisé les comportements domestiques à retombée énergétique.

Modélisation quantitative et qualitative des consommations énergétiques

On peut identifier deux grands types de modèles des consommations énergétiques dans les logements (Lévy et Belaïd, 2018). Le premier relève d'approches quantitatives et constitue l'essentiel de la production scientifique sur la consommation énergétique.

Une première catégorie repose sur des démarches statistiques et vise à établir la contribution de variables discrétisées à la consommation d'énergie finale. Elle est généralement produite par des économistes afin de modéliser les consommations énergétiques des immeubles. Les comportements sont pris en compte de façon indirecte en intégrant comme variables explicatives certaines caractéristiques des ménages, telles que l'âge de la personne de référence (Brounen *et al.*, 2013), les revenus (Cayla *et al.*, 2011), ou la taille du ménage (Leahy et Lyons, 2010). Il s'agit surtout de calculs de régression ; l'algorithme du ou des modèle(s) traduira en coefficient l'impact de chacune des variables sur les consommations. Un certain nombre d'études (Cayla, Allibe, and Laurent 2010; Freire, Oliveira, and Mendes 2008; Lenzen *et al.* 2006; Sardianou 2008; Santin, Itard, and Visscher 2009; Steemers and Yun 2009) arrivent à identifier directement des variables comportementales et sociodémographiques les plus explicatives (telles que la présence de pièces non chauffées, les revenus, le temps passé dans le logement dans la semaine et le week-end, l'âge, la taille du ménage, , etc.). La finalité de ces approches n'est pas tant l'explication du processus de consommation (identifiant des liens de causalité) que sa modélisation (reposant sur des corrélations).

Un autre type d'approche quantitative est surtout développé par des ingénieurs. Il s'agit alors de construire des modèles stochastiques à partir d'hypothèses théoriques, empiriques ou intuitives (Van Raaij et Verhallen 1983; Santin, Itard, et Visscher 2009). Ces modèles estiment la consommation en fonction principalement de l'infrastructure technique de l'immeuble, du logement, de l'équipement des ménages, notamment en appareils électroménagers, et de l'environnement physique (température extérieure, ensoleillement, etc.). Lorsqu'ils prennent en compte les comportements, les hypothèses concernent le plus souvent des temps de présence, des températures, des éclairages ou des ouvertures de fenêtres par exemple, afin d'intégrer dans le modèle les impacts des usages sur les variations des ambiances thermiques du bâtiment (Schoetter *et al.*, 2017). Mais, comme dans les approches statistiques, les comportements sont réduits en variables numérisées ne tenant pas compte du processus comportemental de consommation.

La plupart des approches qualitatives sur l'énergie porte également sur les consommations des bâtiments. Mais, à la différence des modélisations, elles accordent une plus grande importance aux processus comportementaux. Dans ce cas, il ne s'agit donc pas de prendre en compte des variables abordées indépendamment les unes des autres, mais de comprendre la logique influençant les usages à retombée énergétique. Les modèles qualitatifs ont donc vocation à comprendre comment l'interaction entre des facteurs techniques, politiques, économiques et sociaux influence la consommation (Sovacool, 2014). Dans ce cadre, nombres de travaux montrent comment le rapport au confort domestique et à la propreté (Shove, 2003) organise les comportements à retombée énergétique du quotidien : éclairage des pièces, réglage du chauffage, douches, bain, utilisation de la machine à laver. Les ménages font donc preuve d'une adaptation à leur contexte domestique (Subrémon, 2012 ; Lévy *et al.*, 2014) et les comportements

énergétiques peuvent donc être considérés comme une pratique sociale à part entière au sens de Shove *et al.*, 2012, ce qui les rend complexes et difficilement modélisables numériquement (Pellegrino, 2013).

Nos travaux se situent au croisement de ces deux approches. Plus précisément, nous n'avons pas cherché à modéliser les consommations énergétiques, mais les comportements eux-mêmes, à partir de variables synthétiques. Notre hypothèse est qu'il existe une forte relation entre ces comportements et l'intensité de la consommation d'énergie des ménages.

Modélisation des comportements énergétiques domestiques

Pour comprendre la façon dont s'organisent les comportements domestiques des ménages à retombée énergétique, nous avons mené une enquête quantitative auprès de 1950 ménages résidant en Ile de France. Le corpus a été sélectionné de façon à pouvoir constituer des sous-ensembles représentatifs de types de logements et de contextes urbains. L'enquête s'organise autour de 11 principaux thèmes, dont : les caractéristiques de l'immeuble et du logement actuel, le statut d'occupation du logement, les caractéristiques sociodémographiques du ménage occupant, les usages des pièces, la possession de gros et petits équipements électroménagers et les comportements énergétiques (douches et bains, usage des équipements, aération et réglage de la température, etc.). On fera par la suite référence à ce corpus de données en le nommant « base de données Energihab (2009) ». Notre travail s'est structuré autour de trois temps. Dans un premier temps, nous avons créé trois indicateurs synthétiques résumant trois dimensions principales caractérisant les comportements énergétiques : la régulation (comprenant, entre autres, des variables concernant la température de chauffe, l'existence de pièces vides non chauffées, la coupure du chauffage lors de l'aération des pièces), la possession d'équipements énergivores (22 équipements ont été intégrés, dont le four, la machine à laver, le lave-vaisselle, etc.) et l'intensité d'usage des équipements les plus énergivores (fréquence d'usage du four, de la lave-linge, de la sèche-linge, etc.). Ils ont été créés à partir de l'hypothèse qu'ils pourraient avoir un impact important sur l'intensité de consommation. Ils permettent de décrire ce que les ménages font dans leur logement : par exemple, est-ce qu'ils chauffent les pièces vides ; est-ce qu'ils coupent le chauffage quand ils ouvrent les fenêtres ; quels appareils électroménagers possèdent-ils et avec quelle fréquence et intensité les utilisent-ils ?⁴ Ils sont organisés en deux modalités, « fort » et « faible », indiquant une forte ou faible régulation (ECR), possession d'équipement (EQ) et intensité d'usage (IU).

Dans un deuxième temps, nous avons construit, à travers des régressions logistiques binaires⁵, trois modèles, chacun présentant comme variable à expliquer l'un des trois indicateurs synthétiques. Les variables explicatives ont été choisies au sein de la base de données Energihab, parmi celles qui étaient également présentes dans le Recensement de la population⁶. Ces variables décrivent les caractéristiques du ménage (âge, nombre de

⁴ Pour plus d'information et de détails sur la méthode de construction du modèle, voir (Bourgeois, Pellegrino, and Lévy, 2017).

⁵ La régression logistique est une méthode d'analyse multivariée couramment utilisée. Elle permet de construire un modèle en mesurant l'association entre une variable à expliquer et d'autres variables dites explicatives. Par exemple, l'impact de l'âge ou de la taille du ménage (variables explicatives) sur l'intensité des consommations énergétiques au domicile (variable à expliquer).

⁶ Ce choix a été imposé par la finalité de la recherche visant à localiser les comportements énergétiques. Aucune base nationale ne dispose d'informations compatibles avec les variables de notre enquête. Nous

personnes occupant le logement, situation familiale, profession, position dans le cycle de vie, etc.), de l'immeuble et du logement (habitat individuel ou collectif, présence du double vitrage, surface, etc.) et du système de chauffage (individuel ou collectif, type de vecteur énergétique, etc.). Une fois le modèle obtenu pour chaque indicateur synthétique de comportement, nous avons pu calculer la probabilité correspondante à la modalité « fort ». Nous disposions alors d'un modèle permettant de simuler des comportements énergétiques en nous appuyant sur les caractéristiques des logements et celles de leurs occupants.

Les résultats (Bourgeois, Pellegrino, and Lévy, 2017) font apparaître que les régulations énergétiques des ménages sont fortement contraintes par les caractéristiques du logement, comme son type, sa taille, voire le mode ou le combustible utilisé pour le chauffage. Mais les situations résidentielles recouvrent souvent des situations familiales, ce qui explique que les caractéristiques des ménages jouent un rôle dans les régulations énergétiques, les taux d'équipements et leurs usages. Les comportements opposent ici les familles aux personnes seules ou aux couples sans enfant. Ceci est très visible dans l'équipement et l'usage des appareils électroménagers. Les familles en acquièrent beaucoup et les utilisent fréquemment, quand les ménages sans enfants n'en n'ont pas la nécessité. C'est également vrai dans le rapport au confort, notamment dans la régulation du chauffage. Ces résultats confortent en les modélisant ceux d'autres études montrant une stabilité des comportements énergétiques des ménages indépendamment de l'évolution des structures familiales (départ des enfants...). En effet, l'adaptation résidentielle et énergétique des ménages aux situations familiales est loin d'être la situation la plus courante, du moins pour les propriétaires d'une vaste maison. Généralement, ceux-ci se maintiennent dans les lieux après le départ des enfants, en conservant leur mode de vie résidentiel et énergétique. Des études ont pu montrer qu'à contexte urbain et type de logement identiques les consommations énergétiques par m² sont relativement stables alors que celles par personne augmentent sensiblement au cours de l'évolution du cycle de vie du ménage (Lévy, Belaid, 2018). Une explication semble apparaître à travers le fait que la présence d'enfants impose généralement de s'équiper en matériels électroménagers et, de façon surprenante, qu'un fort usage de ces équipements est systématiquement maintenu après le départ des enfants. En résumé, notre travail ne porte pas sur la modélisation des consommations énergétiques, déjà largement traitée par ailleurs, mais sur son corollaire, la modélisation quantitative des comportements énergétiques qui reste largement à développer.

Cependant, dans une réflexion sur la transition énergétique, on ne peut totalement s'affranchir de l'impact de ces comportements sur les consommations. Dans ce cadre, il est logique de considérer qu'il existe un lien entre la possession de gros appareils électroménagers, leur intensité d'usage et le taux de consommation énergétique. Mais il est difficile en l'état des données disponibles, d'établir statistiquement la valeur de ce lien. Il existe tout de même une base de données, l'Enquête nationale logement (ENL 2013, portant sur 27 000 ménages en France) réalisée par l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), qui contient à la fois des informations sur variables explicatives du comportement des trois modèles de comportement et les consommations, même si cette base est constituée à l'échelle nationale et non pas régionale comme ENERGIHAB. Dans un troisième temps, nous avons cependant calculé

avons donc contourné le problème en modélisant les comportements issus de l'enquête ENERGIHAB, à partir de variables présentes dans le recensement de la population, seule base exhaustive couvrant l'ensemble du territoire nationale, à des échelles larges et fines.

la consommation associée à chaque modèle à l'aide de l'ENL. Malgré la variation d'échelle, nos résultats [Figure 1] montrent l'existence de liens entre comportement et consommation d'énergie. Les courbes gris clair de la figure 1 concernent les ménages faiblement équipés en gros appareils électroménagers [Figure 1a] ou qui en font un faible usage [Figure 1b]. Dans ces deux cas de figure, on observe que la densité de consommation électrique est très concentrée à un faible niveau (pic des courbes). En revanche, les courbes gris foncé concernent les ménages très équipés en gros appareils électroménagers ou qui en font un usage intensif. Ici la densité de consommation électrique apparaît plus étalée, ce qui signifie que la probabilité d'une forte consommation est plus élevée que dans le cas précédent.

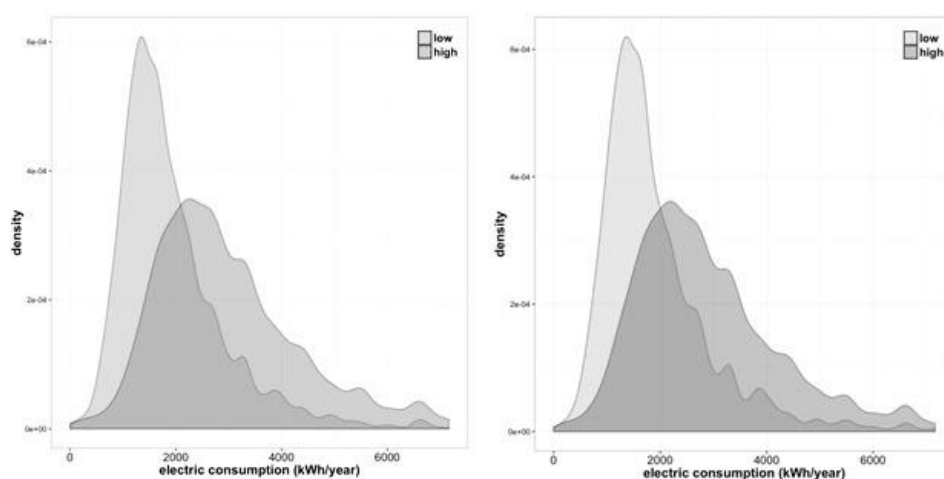


Figure 1. Courbes de densité (density plot) de la consommation électrique spécifique par an, ventilées en fonction des indicateurs de comportement : Fig. 1a : Possession de gros appareils électroménagers ; Fig. 1b, Intensité d'usage (Bourgeois, Pellegrino, and Lévy, 2017).

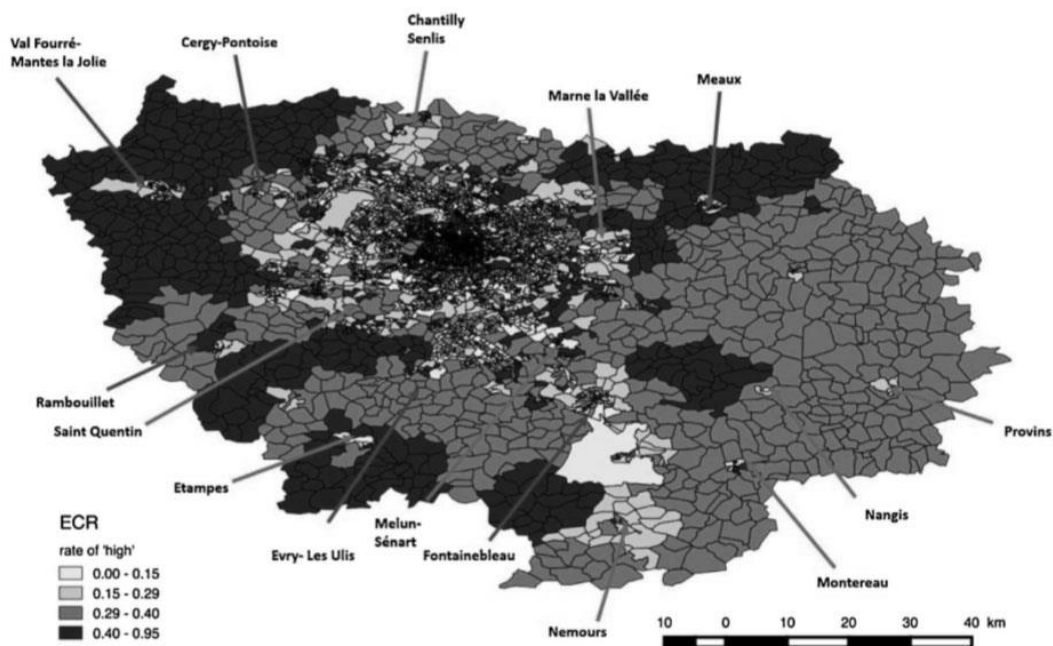


Figure 2. Fort comportement de régulation énergétique des ménages des IRIS en Ile-de-France. (Bourgeois, Pellegrino, and Lévy, 2017).

Spatialisation des comportements énergétiques en Île-de-France

Malheureusement, l'ENL est constituée pour être représentative à l'échelle nationale et ne permet donc pas de spatialiser les analyses au-delà de la France. L'avantage d'utiliser des variables du recensement est justement de mobiliser le modèle pour analyser les comportements énergétiques à une échelle fine. Nous avons ainsi cartographié à l'échelle des 5260 IRIS franciliens chacun des trois indicateurs de comportement énergétique [Figures 2, 3, 4]. Cette démarche peut être réalisée pour tout IRIS français.

Cependant, pour interpréter la distribution spatiale des comportements énergétiques, il est nécessaire d'avoir une vue globale de la distribution régionale de l'habitat et du peuplement. Sur la base de la distribution à l'échelle de l'IRIS du type de logement (individuel/collectif), de leur statut d'occupation, des caractéristiques sociodémographiques des ménages, il est possible d'identifier cinq types d'espaces métropolitains : 1) Un espace central composé de Paris et de sa première couronne où domine logiquement l'habitat collectif ; 2) Des villes nouvelles constituées principalement d'habitat collectif et construites au début des années 1970 pour désengorger la ville centre : Evry au Sud, Saint-Quentin-en-Yvelines au Sud-Ouest, Cergy-Pontoise au Nord-ouest, Melun-Sénart au Sud-Est, Marne-la-Vallée à l'Est ; 3) Des anciennes villes périphériques dont les centres sont composés d'habitat collectif et qui sont aujourd'hui englobées dans la métropole du fait de son expansion : Rambouillet, Etampes, Fontainebleau, Montereau, Provins, Meaux, Chantilly, Senlis ; 4) Des grands ensembles d'habitat social construits dans les années 1960 et 1970 autour de pôles secondaires : Val Fourré à Mantes-la-Jolie ou les Ulis à proximité de la ville d'Evry ; 5) Un habitat périurbain constitué par des lotissements de maisons, qui marque l'extension de la métropole en grande périphérie depuis le milieu des années 1970, et qui se prolonge aujourd'hui jusqu'aux limites des franges rurales de l'agglomération.

Dans ce cadre et sans entrer dans les détails, le lien entre les caractéristiques socio-démographiques de la population et celles des types d'habitat met en évidence la complexité du processus de métropolisation. Ainsi, les occupants des appartements des centres urbains des anciennes villes périphériques (Rambouillet, Etampes, Fontainebleau, Nemours, etc.) sont âgés et constituent des ménages non familiaux suite à la décohabitation des enfants. Les ensembles collectifs les plus récents situés dans les villes nouvelles (Cergy, Marne-la-Vallée, Evry, Melun-Sénart, Saint Quentin-en -Yvelines) ou dans les grands ensembles des périphéries de pôles secondaires (Les Ulis, Mantes-la-Jolie) sont quant à eux occupés par des familles jeunes. L'espace périurbain essentiellement composé d'habitat individuel fait apparaître un double processus. Les lotissements les plus récents sont occupés par des familles jeunes, tandis que les habitants des maisons individuelles situées aux franges rurales de l'agglomération (notamment à l'Est et à l'Ouest) apparaissent vieillissants, car une partie d'entre eux constitue une population présente de longue date, bien avant les nouvelles constructions dans l'habitat villageois ancien.

Ainsi, la combinaison complexe du type d'habitat, de l'âge et de la structure familiale des habitants contribue à expliquer la diversité des comportements énergétiques régionaux.

La carte des comportements de régulation énergétique [Figure 2] fait logiquement apparaître de plus faibles comportements de régulation dans Paris intramuros, dans la première et la seconde couronne et dans les pôles secondaires (Rambouillet, Etampes, Fontainebleau, Montereau, etc.), où domine largement l'habitat collectif. C'est aussi le cas dans les villes nouvelles (Cergy, Saint-Quentin, Evry, Melun, Sénart et Marne la

Vallée) et dans les grands ensembles périphériques (Les Ulis, Evry, Mantes la Jolie). Pour autant, les taux les plus élevés de fortes régulations de comportement énergétique ne concernent pas l'ensemble des espaces périurbains. Par exemple, à l'Est de la région et à la périphérie de Nemours, on distingue des secteurs d'habitat individuel où les régulations de comportement énergétique sont modérées. En revanche, les espaces périurbains situés à l'extrême Ouest de l'agglomération sont occupés par des ménages qui régulent fortement leurs comportements.

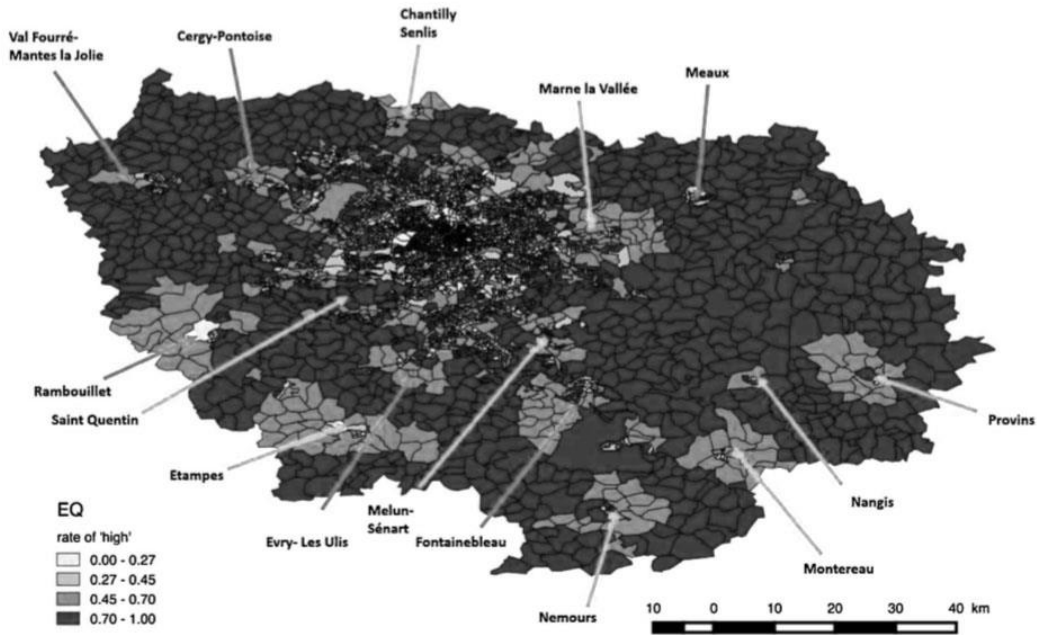


Figure 3. Fort taux d'équipement en électroménagers dans les IRIS de la région Ile de France (Bourgeois, Pellegrino, and Lévy, 2017).

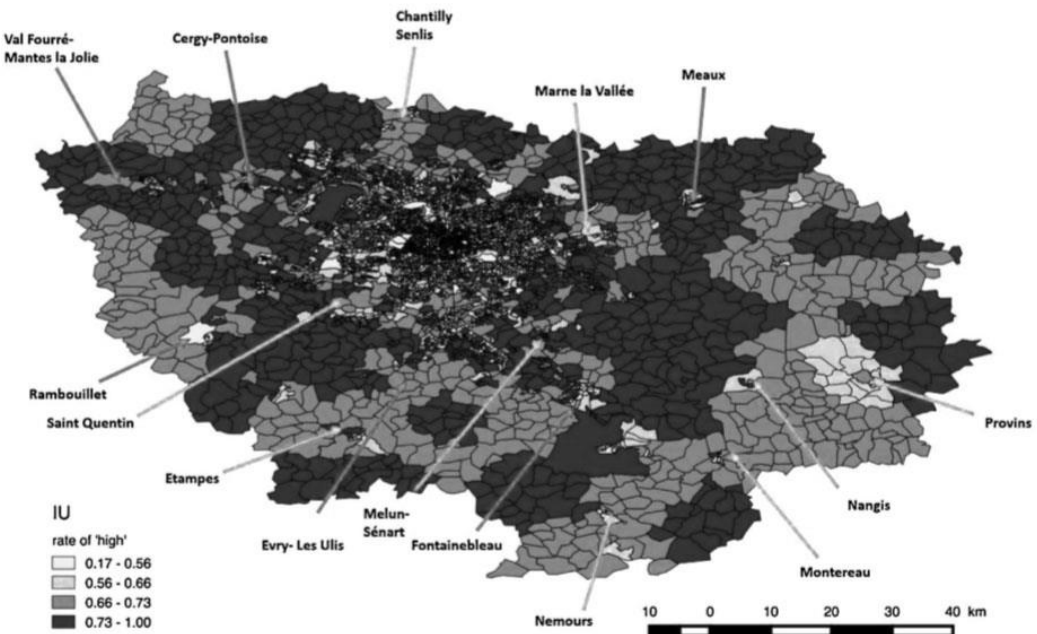


Figure 4. Forte intensité d'usage du gros électroménager dans les IRIS de la région Ile de France. (Bourgeois, Pellegrino, and Lévy, 2017).

Le fort taux d'équipement en appareils électroménagers est quant à lui proportionnel à la surface du logement et à la taille de la famille. Les ménages propriétaires d'une maison sont également plus équipés que les locataires d'un appartement [Figure 3]. Logiquement, ces facteurs expliquent qu'il existe des forts taux d'équipement dans les zones où domine l'habitat individuel. En conséquence, les ménages occupant l'habitat collectif des pôles urbains centraux ou périphériques, ceux des villes nouvelles ou des grands ensembles sont moins équipés que les propriétaires de l'habitat individuel périurbain.

L'intensité d'usage des gros appareils électroménagers a la particularité de relever essentiellement de la taille des ménages et de leur situation familiale [Figure 4]. Ainsi et logiquement, une famille nombreuse utilisera davantage ses équipements qu'un couple sans enfant. Pour autant, on constate que les habitants des pôles urbains centraux ou périphériques, des villes nouvelles, et des grands ensembles, c'est-à-dire des secteurs où domine l'habitat collectif, ont des intensités d'usage faibles. Cependant, cela ne signifie pas que l'ensemble des habitants des maisons périurbaines sont des intenses usagers de gros appareils électroménagers. La carte fait ainsi apparaître de nombreuses poches de faibles usagers au sein des espaces périurbains, la plupart d'entre elles correspondant à des secteurs où la taille des familles est plus réduite. Faute d'une analyse longitudinale, il est difficile d'expliquer ce constat. Cependant on peut supposer que les occupants sans enfants des maisons les plus anciennes correspondent à des ménages anciennement familiaux dans lesquels les enfants ont décohabité. On voit ici les perspectives offertes par notre analyse, qui pourraient spatialiser la démonstration mettant en évidence l'influence du cycle de vie des ménages sur à la fois les comportements et les consommations (Lévy, Belaid, 2018).

Limites et perspectives des logiques d'intervention spatialisée sur la transition énergétique métropolitaine

Le territoire est une construction sociale dans laquelle les distributions du peuplement relèvent de l'histoire de l'aménagement métropolitain et des logiques résidentielles des ménages. Nos modèles semblent montrer ainsi que la production de logement par les politiques publiques impacte directement la distribution spatiale des comportements et par là-même, des consommations.

Les cartes des usages énergétiques permettent aussi de comprendre la façon dont les projets urbains, et en premier chef les programmations de logements, les logiques des promoteurs associées aux politiques locales, concourent à produire une hétérogénéité spatiale des comportements énergétiques. Pour autant, il apparaît illusoire de faire reposer une transition énergétique régionale sur la seule base d'un « rééquilibrage » socio-territorial comme le propose le SDRIF, comme nous allons le voir.

Afin de réduire les consommations énergétiques des bâtiments, le SRCAE propose des actions sur la production de logements et la réhabilitation dans une logique constructive et par une évaluation probabiliste de l'impact des comportements énergétiques. Le SDRIF fait quant à lui davantage intervenir l'espace pour mettre en place une transition énergétique. Ainsi, la volonté de construire des logements locatifs dans les secteurs bien desservis en transports collectifs, tels les pôles de gares [Figure 5], peut être mise en regard des cartes de comportements énergétiques issus de nos modèles. Au-delà de la densification de l'agglomération centrale où domine l'habitat collectif, les secteurs concernés sont surtout des anciennes villes périphériques d'habitat collectif dans les

zones centrales et de lotissements d'habitat individuel à leur périphérie (par exemple Fontainebleau, Etampes, Provins ou Montereau). Le SDRIF propose donc une réorganisation spatiale à l'échelle régionale en se basant sur une logique de réduction de la *mobilité*, se focalisant ainsi sur un seul type de comportement. Or, les cartes des usages énergétiques montrent que cette réorganisation spatiale, et notamment l'introduction des constructions dans un certain nombre de secteurs, peut avoir un effet non négligeable sur les comportements et donc les consommations énergétiques des populations locales, compte tenu du renouvellement du *peuplement* attendu. On voit bien tout l'avantage de notre approche qui permet sortir d'une approche générique pour spatialiser à des échelles larges et fines les comportements énergétiques.

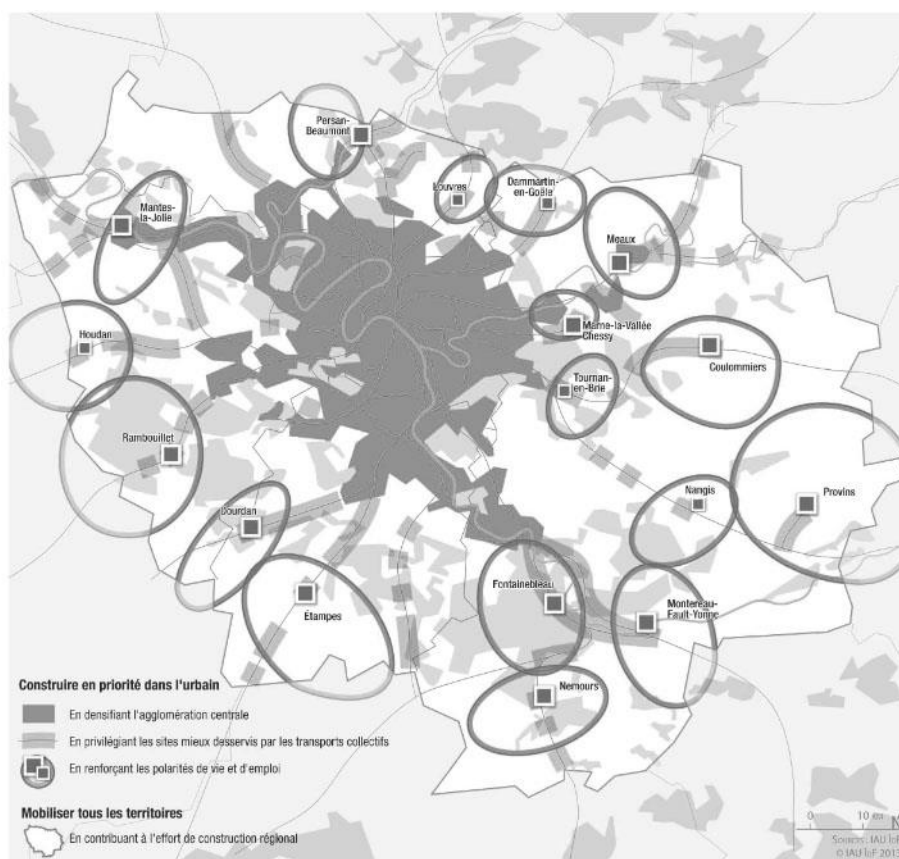


Figure 5. SDRIF, Tome 2, 2013, page 85

Au-delà d'une photographie à un instant T, nos modèles permettent d'envisager des scénarios d'anticipation, de stabilisation de population et d'impact des projets urbains sur l'évolution de la distribution spatiale des comportements énergétiques domestiques⁷. C'est tout l'objet du travail en cours. En effet, nos modèles montrent que les comportements relèvent avant tout d'associations complexes entre l'habitat, l'habitant et son environnement. Nous tentons actuellement de croiser nos modèles de comportements avec des analyses multicritères plus approfondies. A l'échelle de la région Ile de France,

⁷ Il est important de souligner que nous travaillons à type de comportement identique dans le temps, c'est-à-dire qu'à caractéristique de population identique nous n'envisageons pas une transformation des modes de vies énergétiques. Tout au plus, notre approche permet d'évaluer l'impact du cycle de vie du ménage les comportements.

cela permettrait, entre autre, de mesurer l'impact des perspectives du SDRIF et du SRCAE sur les consommations énergétiques locales. On peut également envisager d'affiner les échelles d'anticipation pour déterminer l'impact de constructions localisées susceptibles d'agir efficacement sur la réduction des consommations. Par exemple, la construction de petits logements locatifs peut attirer des jeunes ménages sans enfants faiblement équipés en appareils électroménagers et régulant fortement leurs consommations. A l'opposé, l'introduction de lotissement de maisons en accession à la propriété attire des jeunes familles très équipées et énergivores. Au-delà des constructions, les liens entre les caractéristiques du parc immobilier et celles des habitants montrent également les limites d'une vision statique des comportements des ménages. Parmi les variables explicatives des comportements, l'âge et la taille apparaissent déterminants. C'est-à-dire que les usages évoluent au cours du cycle de vie et des transformations du ménage. Une stabilité résidentielle n'est donc pas synonyme d'une stabilité des usages et des consommations énergétiques et il est important de localiser les zones dans lesquelles la structure de l'habitat favorise une faible rotation de la population, par exemple les nouveaux lotissements en accession à la propriété, les secteurs centraux anciens ou les grands ensembles regroupant les populations précarisées.

Conclusion

Un des résultats forts de notre étude est d'avoir montré que les comportements énergétiques relèvent de la combinaison de divers facteurs associant les caractéristiques des ménages à celles des logements. Parce qu'elle détermine la distribution des logements et de leurs occupants, la planification territoriale agit indirectement sur la répartition des usages dans la métropole. C'est la raison pour laquelle il est difficile de trouver une cohérence et une explication univoque à cette distribution.

Ce constat se heurte à une logique programmatique du SRCAE et du SDRIF visant exclusivement à réduire sensiblement les consommations énergétiques et les GES dans la région. Cette logique se base essentiellement soit sur les constructions et rénovations (SRCAE), soit sur la répartition spatiale des logements, soit, encore, sur une réorganisation spatiale issue de la prise en compte d'un seul type de comportement, la mobilité (SDRIF), en négligeant la transformation du peuplement par les constructions et, plus généralement, le comportement énergétique domestique. Par ailleurs, ces orientations énoncent des objectifs à atteindre en termes d'intensité de consommation globale, de logement faiblement énergivore à construire ou de rénovation à entreprendre, en renvoyant aux instances locales la localisation des opérations et les caractéristiques des logements à construire et à rénover sans leur donner les moyens d'anticiper l'impact des projets urbains sur le peuplement (et les comportements) et sur les consommations énergétiques.

Dès lors se pose la question de la pertinence d'une planification territoriale à l'échelle régionale pour accompagner ou déclencher un processus de transition énergétique. L'hétérogénéité spatiale des comportements met en évidence la nécessité de s'approcher d'une échelle fine pour déterminer les caractéristiques des immeubles et les types de ménage à cibler pour agir efficacement sur la réduction localisée des consommations résidentielles.

Face à ce constat, l'étude des comportements à retombée énergétique et des consommations des ménages d'un point de vue dynamique (prise en compte des évolutions sur le long terme) nous paraît être une piste de recherche prometteuse. Plus

encore, dans une opération donnée les occupants actuels peuvent se stabiliser durablement, mais ils peuvent aussi déménager et être remplacés par d'autres ménages n'ayant pas les mêmes caractéristiques sociales et démographiques. Ces modifications ou ces stabilités dans l'occupation peuvent imputer sensiblement l'intensité localisée des consommations d'énergie. Dans le moyen terme, comme à l'échelle du cycle de vie de l'immeuble, on peut donc considérer que le bâtiment peut être soumis à de fortes variations dans ses formes d'occupations. Nos modèles de comportements permettent, en l'état, de simuler des scénarios de construction et d'évolution des comportements dans le temps, en tenant compte à la fois des caractéristiques des logements et des ménages. Comment peut évoluer le comportement d'un ménage, suite à une modification majeure de l'espace (rénovation, par exemple), au vieillissement de la population, au changement d'usage d'un équipement, etc. ?

En perspective, l'amélioration de nos modèles, notamment à travers une meilleure connaissance de la relation entre le comportement et la consommation énergétique à l'échelle du logement, permettrait de simuler différents scénarios de consommation énergétique pour un contexte et dans un intervalle temporel donnés⁸. D'autres informations pourraient également être intégrées aux modèles. Par exemple, en s'appuyant sur les taux de rotation des ménages fournis par l'ENL, il serait possible de simuler les changements dans l'occupation de l'immeuble à une échéance de dix ans. Ces évolutions à moyen et long termes pourraient être intégrées dans nos modèles, afin de simuler les variations des consommations énergétiques liées aux transformations des structures des ménages (qu'ils soient stables ou mobiles) et à leurs comportements énergétiques.

Il serait ainsi possible de compléter les approches par le cycle de vie du bâti, de plus en plus utilisées et partie intégrante de la réglementation environnementale 2020 entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2022, avec des approches intégrant le cycle de vie des ménages, contribuant à expliquer, et donc à simuler et prédire, la consommation énergétique globale d'un espace habité.

Bibliographie

Bourgeois, A., Pellegrino, M., & Lévy, J. P., « Modeling and mapping domestic energy behavior: Insights from a consumer survey in France », *Energy Research & Social Science*, 32, 2017, 180-192.

Brounen, D., Kok, N., & Quigley, J. M., « Energy literacy, awareness, and conservation behavior of residential households », *Energy Economics*, 38, 2013, 42-50.

Cayla, J. M., Allibe, B., & Laurent, M. H., « From practices to behaviors: Estimating the impact of household behavior on space heating energy consumption », In ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2010.

Freire, R. Z., Oliveira, G., and Mendes, N., « Development of Regression Equations for Predicting Energy and Hygrothermal Performance of Buildings », *Energy and Buildings*, 40(5), 2008, p. 810–820.

Leahy, E., Lyons, S., « Energy use and appliance ownership in Ireland », *Energy Policy*, 38(8), 2010, p. 4265-4279.

⁸ Evidemment sous l'hypothèse de faire sauter le verrou d'une modélisation associant les comportements et les consommations. Notons que ce travail est en cours à travers la recherche ANDRE reposant sur un corpus de données composées de mesures de consommation et d'enquête sur les comportements énergétiques.

- Lenzen, M., Wier, M., Cohen, C., Hayami, H., Pachauri, S., Schaeffer, R., « A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan », *Energy*, 31(2-3), 2006, p. 181-207.
- Lévy, J. P., Roudil, N., Flamand, A., & Belaïd, F. « Les déterminants de la consommation énergétique domestique », *Flux*, (2), 2014, p. 40-54.
- Lévy, J. P., Belaïd, F. « The determinants of domestic energy consumption in France: Energy modes, habitat, households and life cycles », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2018, p. 2104-2114
- Pellegrino, M., « La consommation énergétique à Calcutta (Inde): du confort thermique aux statuts sociaux », *VertigO* 13(1), 2013.
- Schoetter, R., Masson, V., Bourgeois, A., Pellegrino, M., & Lévy, J. P. « Parametrisation of the variety of human behaviour related to building energy consumption in the Town Energy Balance (SURFEX-TEB v. 8.2) », *Geoscientific Model Development*, 10(7), 2017, p. 2801-2831
- Shove, E. « Converging conventions of comfort, cleanliness and convenience », *Journal of Consumer policy*, 26(4), 2003, p. 395-418.
- Shove, E., Pantzar, M., & Watson, M. *The dynamics of social practice: Everyday life and how it changes*, Sage, 2012.
- Sovacool, B. K., « What are we doing here? Analyzing fifteen years of energy scholarship and proposing a social science research agenda », *Energy Research & Social Science*, 1, 2014, 1-29.
- Subrémon, H., *Anthropologie des usages de l'énergie dans l'habitat: un état des lieux*, Paris, PUCA, coll., 2012
- Santin, O. G., Itard, L., & Visscher, H., « The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock », *Energy and buildings*, 41(11), 2009, p. 1223-1232.
- Sardianou, E., « Estimating space heating determinants: An analysis of Greek households », *Energy and Buildings*, 40(6), 2008, p. 1084-1093.
- Stemers, K., & Yun, G. Y., « Household energy consumption: a study of the role of occupants », *Building Research & Information*, 37(5-6), 2009, p. 625-637.
- Van Raaij, W. F., & Verhallen, T. M., « A behavioral model of residential energy use », *Journal of economic psychology*, 3(1), 1983, p. 39-63.