

3) Sommaire

1) Avant-propos	2
2) Abstract.....	3
3) Sommaire.....	4
4) Introduction	5
5) Points de vue.....	7
a) Économique	7
b) Social et anthropologique	9
c) Philosophique.....	11
d) Architectural	13
6) Tableau	14
a) Méthodologie	14
b) Tableau synoptique	23
c) Tableaux précis	24
7) Interprétations.....	49
a) Interprétations du tableau synoptique	50
b) Résumé et compilation des études	51
c) Conclusions personnelles.....	63
8) Conclusion générale	64
9) Bibliographie	65

4) Introduction

L'effet rebond correspond à une réponse comportementale : celle de l'utilisateur, qui augmente l'utilisation d'un service énergétique suite à la baisse du coût de celui-ci. L'effet rebond a donc une conséquence directe sur l'efficacité de toute opération visant à réduire la demande énergétique d'un service.

L'inverse de l'effet rebond est l'effet « prébond ». Il désigne une consommation énergétique inférieure aux estimations. Cet effet est visible dans les classes énergétiques les moins performantes. Il sera détaillé plus bas que cet effet est lié à un besoin d'économie d'argent et à des habitudes de confort plus modérées.

L'exemple le plus utilisé pour expliquer l'effet rebond est celui de la voiture : si une voiture consomme moins d'essence au kilomètre, cela coûtera moins cher pour le conducteur de faire ses trajets habituels et de parcourir les mêmes distances que d'habitude. On constate alors qu'il aura tendance à prendre plus souvent sa voiture, et à faire plus de kilomètres. Les économies d'énergie ne sont donc pas aussi importantes qu'estimées et espérées.

L'effet rebond est donc un pourcentage, celui qui représente la différence entre les économies d'énergies estimées et les économies réelles. Reprenons l'exemple de la voiture : imaginons un conducteur qui parcourt 50 km par jour et qui possède un véhicule consommant 10 litres/100km. En voulant réduire sa consommation d'essence, il change de véhicule et opte pour un modèle qui consomme 5l/100km. S'il continuait à faire 50 km par jour, il diminuerait sa consommation de 50%, et l'effet rebond serait de 0%. Cependant, différentes études¹ ont montré l'existence d'un effet rebond d'environ 30%, ce qui signifie que notre conducteur parcourt désormais en moyenne 65 km par jour. Sa consommation n'a donc réduit que de 35% au lieu de 50%.

¹ ANDERSSON David, LINSKOTT Ross et NÄSSÉN Jonas, « Estimating car use rebound effects from Swedish microdata », *Energy efficiency*, 2019, Vol.12 (8), pp. 2215-2225.

STAPLETON Lee, SORRELL Steve et SCHWANEN Tim, « Estimating direct rebound effects for personal automotive travel in Great Britain », *Energy economics*, 2016, Vol.54, pp. 313-325.

COLLET Roger, KEMEL Emmanuel, HIVERT Laurent et CADIC Ifsttar, « Evidence for an endogenous rebound effect impacting long-run car use elasticity to fuel price », *Economics Bulletin*, 2011, Vol.31 (4), pp. 2777-2786.

Un exemple dans les logements est l'effet rebond qui survient suite à l'amélioration de l'efficacité énergétique d'un système de chauffage. Suite à cette rénovation, l'habitant consommera moins d'énergie, et paiera donc moins cher pour chauffer son logement à 19°C, température qu'il maintenait avant la rénovation. Mais au vu des économies d'argent réalisées, l'habitant pourra profiter de ce prix réduit pour augmenter son confort thermique et chauffer dorénavant son logement à 21°C, réduisant ainsi les économies d'énergie prévues.

Khazzoom¹ détaille un effet rebond qui dépasse 100%, appelé « backfire », traduit retour de flamme. Dans ce cas de figure, l'augmentation de la demande pour un service énergétique dépasse le niveau de demande avant son amélioration, tant l'effet rebond est important. Cette observation soulève l'aspect contre-productif de certaines améliorations énergétiques.

On distingue trois types d'effets rebonds : l'effet rebond direct, l'effet rebond indirect, et l'effet rebond à l'échelle de l'économie. Ils seront détaillés dans la cadre théorique des sciences économiques.

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique et d'amenuisement des ressources énergétiques, l'identification de l'effet rebond et sa prise en compte lors des estimations de dépenses énergétiques sont des paramètres essentiels qui doivent être pris en compte pour parvenir à une réelle efficacité.

¹ KHAZZOOM J. D., « Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances », *Energy Journal*, 1980, 1(4), pp. 21-40.

5) Points de vue

a) Économique

La grande majorité des études sur l'effet rebond sont réalisées dans le domaine des sciences économiques. Ce monopole nous complique la tâche de compréhension de toutes les informations, notamment au niveau de la méthodologie, des méthodes de calcul, ou du traitement des données. Heureusement, leur nombre important permet une sélection plus claire.

Le premier usage de l'expression « effet rebond » remonte à 1865, avec William Stanley Jevons, un économiste anglais. « Le paradoxe de Jevons »¹ est d'ailleurs une autre expression désignant le phénomène rebond en économie. C'est seulement plus d'un siècle plus tard qu'un nouvel intérêt est apporté à l'effet rebond. Greening et al.² détaillent, comme amorcé plus tôt, trois types d'effets rebonds, qui sont basés sur le même principe de réponse comportementale suite à l'amélioration technique d'un service énergétique.

Premièrement, l'effet rebond direct – celui que nous avons choisi d'étudier le plus en profondeur dans ce travail, représente l'augmentation de l'utilisation d'un service énergétique suite à la baisse du coût de celui-ci, comme dans les exemples précédents.

En second lieu, l'effet rebond indirect : il représente l'augmentation de la demande d'autres services énergétiques, suite à la baisse du coût d'un service. Par exemple, un habitant qui a économisé de l'argent en isolant les murs de son logement pourra désormais se permettre de voyager plus fréquemment en avion, ou de prendre plus souvent sa voiture.

¹ JEVONS W.S., *On the variation of prices and the value of the currency since 1782*, J. Stat. Soc. Lond. 28, 1865, p.294-320.

² A. GREENING Lorna, GREENE David L, DIFIGLIO Carmen, « Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey », *Energy policy*, 2000, Vol.28 (6-7), pp. 389-401.

Enfin, l'effet rebond à l'échelle de l'économie, le plus difficile à estimer, mais également celui le plus important à long terme¹. Il représente l'augmentation de la demande de biens qui consomment de l'énergie suite à l'amélioration de la performance de ce même bien, ou une amélioration de sa fabrication industrielle. A cause de l'effet rebond à l'échelle de l'économie, on assiste à un développement continu de nouveaux produits et services électriques. Herring détaille « l'éclairage électrique dans les années 1900, la réfrigération domestique dans les années 1930, la télévision dans les années 1950, les micro-ondes et l'audiovisuel dans les années 1980, les ordinateurs et le réseau Internet dans les années 1990, la télévision numérique et le cinéma à domicile au début du 21e siècle, ce qui a entraîné une augmentation historique de la consommation d'énergie ».² À notre époque, on peut prendre l'exemple des smartphones, dont chaque génération propose des modèles de batteries de plus en plus performants. Mais étant donné les fonctionnalités et applications de plus en plus gourmandes en énergie, les smartphones consomment toujours aussi rapidement leur batterie, et doivent être rechargés régulièrement.

¹ HERRING Horace, ROY Robin, « Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect », *Technovation*, 2007, Vol.27 (4), pp. 194-203.

² *Ibid.*

b) Social et anthropologique

Comme observé tout au long de ce travail, l'aspect comportemental a un rôle essentiel dans la détermination de l'effet rebond, et l'une des clés de compréhension de cet aspect passe par le point de vue social et anthropologique.

Ces points de vue ont pour référence principale l'ouvrage de Marie-Christine Zélem, « *Économies d'énergie : le bâtiment confronté à ses occupants* ».¹

Elle y explique que l'idée de transition énergétique est très techno-centrée, comme si les améliorations techniques à elles seules pouvaient suffire à réduire suffisamment la consommation globale d'énergie. La différence entre les estimations et la réalité s'explique par une incompatibilité de certaines logiques : « [...] les technologies sont porteuses de logiques (en termes d'efficacité, de robustesse, de connectivité...) qui ne sont pas nécessairement compatibles avec les logiques sociales (identitaires, distinctives, sanitaires, économiques, écologiques...). Elles reposent sur des conceptions standardisées des pratiques sociales qui renvoient à des normes techniques (comme celle du 19 °C dans les logements ou celle du 50 kwh.m2/an pour le bâtiment neuf), que le modèle constructif tend à imposer contre les normes sociales en matière de confort thermique (comme celle de chauffer à 21 ou 22 degrés), contre les aspirations sociales (vivre dans un logement climatisé, par exemple) ou contre les habitudes (se couvrir ou non, chez soi (pantoufles, gilet...), programmer ou non (différencier le confort de jour de celui de la nuit), aérer longtemps ou pas du tout, contrôler ses factures ou non...). Cette mise en concurrence entre dispositifs techniques et cet ensemble d'attitudes constitutives du « comportement énergétique » explique en grande partie la difficulté des habitants à s'approprier ce projet de sobriété pensé en dehors d'eux ».²

Zélem rajoute à cela la complexification continue de la technologie, au langage parfois hermétique, qui a tendance à déresponsabiliser et déposséder les usagers de la maîtrise

¹ ZÉLEM Marie-Christine, « *Économies d'énergie : le bâtiment confronté à ses occupants* », *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 2018, Vol.90 (2), p.26-34.

² *Ibid.*

de leur logement et de ses propriétés. Cette confusion décourage encore plus l'utilisateur à utiliser au mieux la performance de son bâtiment.

Pour illustrer la diversité sociale des individus par rapport à la notion de confort, elle les classe en catégories. Notons que ces catégories ne sont pas totalement rigides, et que les individus peuvent se retrouver dans plusieurs catégories ou entre deux catégories. Ce classement met bien en évidence la difficulté de calculer de manière uniforme la consommation d'énergie de tous les logements, tant la diversité de comportements est importante. Zélem distingue les éco-sceptiques, les éco-essentiels, les écoresponsables et les technophiles¹.

- Les éco-sceptiques : ce sont de grands consommateurs d'énergie, accordent beaucoup d'importance à l'image qu'ils renvoient par leur niveau de vie et par leur niveau de confort.
- Les éco-essentiels : ce sont des consommateurs plus modestes, leur consommation est limitée pour des raisons budgétaires.
- Les écoresponsables : leur consommation modérée est guidée par un ensemble de valeurs humanistes ou environnementalistes.
- Les technophiles : ils sont plus intéressés par l'aspect technologique, l'aspect connecté. Leur consommation varie en fonction de la balance entre leur goût pour la technologie et leur éthique environnementale.

Dans son article, Zélem conclut que dans le but d'une transition énergétique, il serait pertinent de rapprocher les technologies de leurs utilisateurs au lieu de les en éloigner. On serait alors dans une ingénierie plus sociale que techno-centrée.

« Ce dont il s'agit, c'est donc de cesser de considérer le bâtiment seul comme l'objet d'étude, mais bien le couple usager/bâtiment dans son ensemble. Cela demande rien de moins que d'ajouter à un certain savoir-faire technique en énergétique, en thermique des enveloppes, en conception de systèmes, etc.) un large volet de savoir-être ».²

¹ *Ibid.*

² LENORMAND Pascal, *Le design énergétique des bâtiments*, Paris, Afnor Éditions, 2018.

c) Philosophique

« Lorsqu'une activité outillée dépasse un seuil défini par l'échelle ad hoc, elle se retourne d'abord contre sa fin, puis menace de destruction le corps social tout entier ».¹

Cette citation d'Ivan Illich, de manière extrême, dénonce l'aspect contre-productif de l'augmentation permanente des activités du monde industriel, comme par exemple, le durcissement des normes de performance énergétique.

« Les recherches d'Ivan Illich sur la contre-productivité des institutions modernes, commentaient l'idée – toujours aussi pertinente aujourd'hui – selon laquelle les grandes instances de prestations de services éloignent la majorité des gens qu'elles prétendent servir des buts en vue desquels elles ont été instituées et sont financées, et ce dans une mesure correspondant à l'intensité de leur consommation : l'école obligatoire paralyse l'apprentissage et l'étude libres, l'accélération des automobiles et la densité croissante du trafic freinent l'accessibilité du monde aux pieds, la médecine menace la santé de ses patients, la planification de l'habitat et sa normalisation rendent impossible d'édifier son propre 'chez-soi' ».²

Comme le résume Augustin Fragnière : « En bref, la société industrielle engendre l'hétéronomie et aliène les femmes et les hommes qui la composent. Il n'en va cependant pas ainsi de tous les systèmes techniques. L'important est que l'équilibre entre autonomie et hétéronomie soit respecté. Je ne fabrique pas ma bicyclette tout seul, mais je peux la conduire et la réparer sans un long apprentissage. Ici, entre mon outil et moi, la synergie est positive, c'est la convivialité. [...] Le 'glissement de terrain' qu'Ivan Illich décèle dans le cours de l'histoire au tournant des années 1980 est ce qu'il appelle le passage de 'l'âge des outils' à 'l'âge des systèmes', le système étant formé par cette catégorie d'artefacts qui, à la différence des outils, ne sont plus clairement

¹ ILLICH Ivan, *La Convivialité*, Paris, Éditions du Seuil, 1973, 11 p.

² DUDEN Barbara et ROBERT Jean, *Illich, seconde période*, France, Editions Esprit, 2010, 136 p.

distincts de leur utilisateur [...] [et] qui font de la personne à la fois un usager et une partie du système, ce qui tend à diminuer encore l'autonomie de l'individu ».¹

Ce point de vue, s'il interroge la notion de confort, questionne également le rapport de l'homme à la technologie et à l'automatisation. Dans le cadre d'une étude sur l'effet rebond, on pourrait avancer l'idée que l'institutionnalisation des normes énergétiques nuirait de manière globale aux objectifs de la transition énergétique. En codifiant, normifiant et technifiant le fait d'économiser de l'énergie, on rendrait en réalité cet acte plus compliqué et dysfonctionnel.

Cette considération, bien que plus philosophique, serait une piste de réflexion à prendre en compte pour une approche globale de notre problématique et pour ses conséquences dans le métier d'architecte : comment, dans notre rôle et dans ce contexte, développer la convivialité entre l'habitant et l'habitat, permettre à l'utilisateur de s'emparer de la technologie et non l'inverse ?

¹ FRAGNIÈRE, Augustin, « Les deux vies d'Ivan Illich », *La Vie des idées*, 24 novembre 2010. ISSN : 2105-3030, disponible à l'adresse suivante <https://laviedesidees.fr/Les-deux-vies-d-Ivan-Illich.html> (consultée le 14 août 2020).

d) Architectural

Par point de vue architectural, nous entendons l'interrogation suivante : quelles sont les postures de l'architecte qui conçoit, communique et construit un bâtiment pour éviter les effets rebonds dans celui-ci ?

Rares sont les études ou les ouvrages qui se penchent sur la position de l'architecte face aux effets rebonds. Quelque part, c'est comme si nous nous résignons à suivre les réglementations des performances énergétiques, et comme si nous acceptons qu'au final, l'utilisateur aura toujours le dernier mot quant à l'usage de son logement, quelles que soient les mesures prises par l'architecte.

Pascal Lenormand, dans son livre sur le design énergétique des bâtiments¹, reprend une idée que nous avons précédemment citée pour le point de vue social et anthropologique. Il semble indiquer qu'il faut considérer l'habitat et l'habitant comme un tout, et non étudier et perfectionner seulement l'habitat. Car *in fine*, entre l'habitat et l'habitant, seul l'habitant consommera réellement de l'énergie.

« Ce n'est, finalement, qu'affirmer que notre rôle [d'architecte] est de construire des bâtiments dans lesquels les gens puissent construire une vie heureuse, et non fabriquer des gens aptes à faire fonctionner correctement nos bâtiments ».²

¹ LENORMAND Pascal, *Le design énergétique des bâtiments*, Paris, Afnor Éditions, 2018.

² *Ibid.*

6) Tableau

a) Méthodologie

L'objectif étant de rassembler, compiler et comparer des informations concernant les effets rebonds dans le bâtiment, il a fallu dans un premier temps accumuler les références chiffrant l'effet rebond direct.

Une partie des études, bien qu'intéressantes, ont été écartées car elles ne détaillaient pas suffisamment les paramètres des bâtiments étudiés. Elles se contentaient en effet de chiffrer l'effet rebond pour toute une série de logements. Impossible alors de mettre en évidence l'importance relative de certains facteurs. La méthodologie et les méthodes de calcul très poussées de ces études les plaçaient davantage dans le domaine des sciences économiques. Si elles ont pu nous inspirer de manière générale, elles ne nous ont cependant pas paru adaptées pour ce travail d'architecture.

Une spécificité méthodologique est à noter dans bon nombre d'études, dont certaines sont reprises dans le tableau de données : l'effet rebond n'est pas toujours un calcul de consommation énergétique *avant* et *après* une rénovation énergétique. Dans beaucoup de cas, ce qui est calculé est en réalité la *réaction* de l'utilisateur à une baisse du coût de l'énergie. En effet, lorsque le coût d'un service baisse, l'utilisateur a tendance à augmenter la demande de ce service, à le surutiliser. Cette méthode est validée par plusieurs économistes pour calculer l'effet rebond, puisque nous avons pu constater que c'est celle qui est utilisée dans leurs études.

Nous nous sommes donc intéressés uniquement aux études qui, en plus de chiffrer l'effet rebond, détaillaient voire comparaient certains paramètres. Ces paramètres sont :

- La classe énergétique (G, F, E, D, C, B, A, A+, A++) : c'est l'information de base indiquant un ordre de valeur de consommation du bâtiment. La norme Q-Zen, par exemple, exige la classe A (entre 45 et 85 kWh/m².an) à partir de 2021 en Wallonie.

- Le confort : ce paramètre renvoie aux habitudes de consommations de l'habitant, telles que la température de chauffage, le temps de chauffage, le pourcentage de surface chauffée, l'utilisation d'eau chaude sanitaire, etc. Notons cependant que ce paramètre diffère notablement des autres critères, car il est dépendant de la subjectivité des individus : il n'existe pas de consensus universel définissant ce qu'est le « confort ».
- La présence d'un thermostat : les régulateurs de température intérieure changent considérablement les habitudes de chauffage des habitants.
- Le type de chauffage primaire : chauffage au gaz, pompe à chaleur, chauffage électrique, etc.
- Le type de ventilation : ventilation naturelle, simple flux, double flux.
- La typologie du bâti : immeubles à appartements, maison mitoyenne, maison 4 façades, etc.
- Les revenus du ménage : différenciation des foyers aux revenus importants des foyers aux revenus moins importants.
- La période de construction : différenciation des bâtiments anciens et des bâtiments plus récents, et donc soumis à des normes plus strictes.
- La superficie : différenciation des logements en fonctions de leur superficie en m².
- Le nombre d'habitants.
- La possession ou non du bâtiment : c'est le statut des habitants par rapport au bien (locataires ou propriétaires).
- La consommation d'énergie : ici, nous parlons de tendances qu'a l'utilisateur à consommer plus par rapport à sa classe énergétique. Ce paramètre indique donc s'il s'agit d'un gros consommateur ou d'un consommateur plus modéré, et ce indépendamment d'une quelconque rénovation énergétique ou d'une baisse du coût de l'énergie.
- Les aides financières : c'est la question de savoir si l'habitant a reçu des subsides de l'état pour réaliser une rénovation énergétique.
- Le prix du bâtiment : ce paramètre est étudié indépendamment du revenu du ménage.

- L'âge des habitants : plus précisément, la présence ou non de personnes âgées dans l'habitation.

Une fois tous les paramètres repris dans le tableau, une première observation générale peut être effectuée : nous devons identifier quels paramètres sont les plus étudiés et, quels paramètres sont trop peu étudiés. Plus il y a d'études examinant un paramètre, plus les informations et les conclusions concernant ce paramètre seront significatives.

Dans un second temps, en observant les divergences entre les études, nous pourrons chercher à comprendre les causes de ces différences en fonction de la méthodologie avec laquelle ces études ont été menées. Cela permet de faire apparaître de nouveaux résultats, invisibles avant la comparaison.

a. Présentation des études

Au final, seules 11 études seront reprises dans le tableau récapitulatif. Leurs différences étant la source de futures conclusions, il nous paraissait donc fondamental de détailler pour chaque étude quel type de logement est pris en compte, par quel(s) moyen(s) sont obtenus les résultats, le nombre de sujets, la localisation, etc., tout paramètre pouvant se révéler significatif par la suite.

- MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Statistical model of the heating prediction gap in Dutch dwellings : Relative importance of building, household and behavioural characteristics », *Energy and buildings*, 2015, Vol.105, pp. 43-59.

Dans cette étude, l'objectif est de mettre en évidence des différences entre la consommation d'énergie calculée et la consommation d'énergie réelle, qu'il s'agisse de sous-estimation théorique (rebond) ou de surestimation (prébond). Il est donc important de trier les informations pour ne retenir que celles qui touchent à l'effet rebond. On combine également deux sources de données, les données « Rekenkamer » et les données « WoON ». Ces deux sources de données viennent de logements aux Pays-Bas, et se concentrent uniquement sur la consommation de gaz.

Les données « Rekenkamer », récoltées par la municipalité d'Amsterdam, concernent près de 49 000 logements utilisés. Une sélection a exclu les logements qui ont obtenu plusieurs certificats énergétiques durant la période d'analyse (rénovation), les groupes de logements avec un chauffage centralisé (où il est impossible d'individualiser les consommations de gaz), et les logements à la consommation de gaz ou d'électricité nulle. Les appartements de plus de 1000m² ont également été exclus pour éviter les valeurs extrêmes. Avec tous les cas écartés, on passe de 245 841 habitations à 48 929 habitations analysées. Les habitants ont reçu pour cette étude un questionnaire de 42 questions sur des propriétés du logement et des habitants, qui n'étaient pas reprises dans la détermination de la classe énergétique. Ces questions portaient notamment sur le nombre de chambres, le type de thermostat, le nombre

d'habitants et leur âge, leur occupation, leur facilité de paiement des factures d'énergie, etc.

Les données « WoON », quant à elles, sont des données récoltées par le ministère de l'intérieur aux Pays-Bas, et concernent 4800 logements.

- MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings : What causes the differences ? », *Energy policy*, 2013, Vol.61, pp. 460-471.

L'objectif ici est le même que pour la première étude présentée, des mêmes auteurs. Les effets rebond et prébond sont confondus.

Cette étude se base sur les classes énergétiques des certificat PEB des bâtiments aux Pays-Bas, et les compare avec une autre source de données, celle du CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek). Le nombre de logements présents dans ces deux sources s'élève à approximativement 40 000 logements. On parle donc ici d'une comparaison entre la consommation théorique et la consommation réelle, qui est mesurée pour cette étude.

- AYDIN Erdal, KOK Nils, BROUNEN Dirk, « Energy efficiency and household behavior : the rebound effect in the residential sector », *The Rand journal of economics*, 2017, Vol.48 (3), pp. 749-782.

Cette étude compare également la consommation théorique avec la consommation réelle. Pour la consommation théorique, les données viennent d'AgentschapNL, un organisme gouvernemental, qui délivre les équivalents des certificats PEB, ainsi qu'une estimation de la consommation de gaz par an par foyer. Pour la consommation réelle, ce sont encore les données du CBS qui sont utilisées. Elles comprennent, en plus de la consommation réelle, des informations sur l'habitant.

Cette étude concernait à l'origine 610 000 logements. Après avoir exclu les logements qui ont changé d'occupants pendant la période d'analyse, et les logements qui n'ont eu aucune consommation de gaz ou d'électricité, il reste 563 010 logements analysés.

- O. GUERRA Santin, « Occupant behaviour in energy efficient dwellings : evidence of a rebound effect », *Journal of housing and the built environment*, 2012, Vol.28 (2), pp. 311-327.

Cette étude se base sur les données de l'enquête WoON. Les caractéristiques des bâtiments ont été obtenues à partir des inspections, tandis que des questionnaires ont fourni des informations sur les caractéristiques des ménages, et sur l'utilisation des systèmes de chauffage et de ventilation. Cette étude porte sur 4800 logements sélectionnés au hasard dans le parc immobilier néerlandais, et a été réalisée en trois temps. Dans un premier temps, les auteurs ont analysé l'influence de caractéristiques du logement par rapport à la consommation réelle d'énergie. Ensuite, ils ont isolé les comportements principaux qui influençaient la consommation d'énergie. Et enfin, une fois les comportements isolés, ils les ont étudiés séparément pour estimer l'influence de chacun d'eux.

- MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual heating energy savings in thermally renovated Dutch dwellings », *Energy Policy*, 2016-10, Vol.97, pp. 82-92.

Dans cette étude, l'objectif est de comparer les consommations énergétiques avant et après une rénovation énergétique. La classe énergétique n'y est donc plus un facteur pris en compte, mais uniquement les données avant et après la rénovation. Cette étude met en évidence les méthodes les plus efficaces pour rénover un logement, en analysant lesquelles ont obtenu l'effet rebond le plus faible.

Cette étude se base sur des données provenant d'une organisation (SHAERE) qui fournit des indications sur la performance énergétique des bâtiments, indépendamment de la classe énergétique officielle. SHAERE récolte des données sur environ un tiers du parc immobilier néerlandais. Ces données concernent notamment la géométrie du logement, le type de chauffage et de parois, ou encore la consommation d'énergie liée au chauffage.

- BRØGGER Morten, BACHER Peder, MADSEN Henrik, B. WITTCHEN Kim, « Estimating the influence of rebound effects on the energy-saving potential in building stocks », *Energy and buildings*, 2018, Vol.181, pp. 62-74.

Cette étude est basée sur des données concernant 134 093 logements danois, obtenues à partir de deux bases de données : d'une part la base de données du certificat danois de performance énergétique (EPC), et d'autre part le registre danois des bâtiments et des logements (BBR). La base de données EPC contient des informations sur les caractéristiques physiques de chaque bâtiment, jusqu'au niveau d'un seul composant, par exemple les valeurs U et les surfaces de tous les murs extérieurs. De plus, la base de données EPC contient des informations sur les surfaces chauffées, le type de chauffage, et le type de propriété. La base de données BBR, quant à elle, est une base de données accessible à tous, gérée par les autorités fiscales danoises, et contient des informations sur les surfaces chauffées, la période de construction ou de rénovation, etc.

Dans cette étude, les logements avec une consommation jugée trop faible ($<20\text{kWh/m}^2.\text{an}$) ou trop élevée ($>500\text{kWh/m}^2.\text{an}$) ont été exclus des données pour éviter les erreurs. Seuls les bâtiments construits après 1600, et seuls les bâtiments ayant un système de chauffage primaire valable, ont été inclus dans les analyses. La suppression des observations erronées a réduit l'ensemble des données de 153 821 à 134 093 bâtiments.

- DALL'O' Giuliano, SARTO Luca, SANNA Nicola, MARTUCCI Angelo, « Comparison between predicted and actual energy performance for summer cooling in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy) », *Energy and buildings*, 2012-11, Vol.54, p.234-242.

Cette étude compare les estimations de consommation avec les consommations réelles, dans une poignée d'appartements très efficaces sur le plan énergétique, situés en Lombardie.

- GALVIN Ray, « Targeting ‘behavers’ rather than behaviours : A ‘subject-oriented’ approach for reducing space heating rebound effects in low energy dwellings », *Energy & Buildings*, 2013-12, Vol.67, pp. 596-607.

En Allemagne, 60 appartements construits vers 1950 ont été rénovés entre 2008 et 2011 aux normes énergétiques de l’époque. Ces appartements se répartissent entre 3 immeubles à appartements. Des capteurs sensoriels sont installés dans tous les logements. Des mesures ont été effectuées toutes les quelques minutes, dans toutes les pièces, de la température intérieure, des réglages du thermostat, de l’ouverture et de la fermeture des fenêtres, de l’humidité et de la consommation d’énergie liée au chauffage.

Cette étude ne compare pas les résultats des capteurs avec des résultats avant rénovation, elle compare les résultats avec des estimations.

- HENS Hugo, « Energy efficient retrofit of an end of the row house : Confronting predictions with long-term measurements », *Energy and buildings*, 2010, Vol.42 (10), pp. 1939-1947.

Ici, c’est un seul logement en Belgique qui est étudié en profondeur pendant plusieurs années, suite à une rénovation énergétique. Ce cas est intéressant mais ses résultats ne peuvent pas conduire à des généralités, car l’échantillon est bien sûr trop faible.

- E. SCHEEPENS Arno, G. VOGTLÄNDER Joost, « Insulation or Smart Temperature Control for Domestic Heating : A Combined Analysis of the Costs, the Eco-Costs, the Customer Perceived Value, and the Rebound Effect of Energy Saving », *Sustainability*, 2018, Vol.10 (9), 3231 p.

On étudie ici l’effet d’une rénovation énergétique en rajoutant de l’isolation, ou en ajoutant un dispositif de contrôle de température semblable à un thermostat, appelé HEMS (home energy management systems).

- KANE Tom, FIRTH Steven, DIMITRIOU Vanda, COLEMAN Michael, HASSAN Tarek, *Exploring the performance gap in UK homes : new evidence from smart home and smart meter data*, Loughborough University, 2015, disponible à l'adresse suivante : <https://hdl.handle.net/2134/19982> (consultée le 14 Août 2020).

Cette étude se base sur les données de 20 logements participant au programme REFIT, un programme qui utilise les données des « smart homes » pour influencer les prises de décision liées à la rénovation. On a donc affaire ici à des maisons dites « intelligentes », où le chauffage et la ventilation sont automatisés.

b) Tableau synoptique

	MAJCEN 2015	MAJCEN 2013	AYDIN 2017	GUERRA 2012	MAJCEN 2016	BRØGGER 2018	DALL'O' 2012	GALVIN 2013	HENS 2010	SCHEEPENS 2018	KANE 2015
Classe énergétique											
Confort											
Thermostat											
Type de chauffage											
Type de ventilation											
Typologie											
Revenus du ménage											
Période de construction											
Superficie											
Nombre d'habitants											
Locataire/propriétaire											
Consommation d'énergie											
Aides financières											
Prix du bâtiment											
Âge des habitants											

Légende	Très déterminant	Déterminant	Peu déterminant	Non déterminant	Non mentionné
---------	------------------	-------------	-----------------	-----------------	---------------

c) Tableaux précis

	MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Statistical model of the heating prediction gap in Dutch dwellings : Relative importance of building, household and behavioural characteristics », 2015
Classe énergétique	« Looking at different performance classes, the DBTA (difference between theoretical and actual gas consumption) seems to be positive in poor performing dwellings (later on referred to as overprediction), meaning that theoretical gas use is higher than actual. In the most extreme cases the theoretical gas use can be as high as double of the actual consumption. This phenomenon seems to arise from the fact that poor performing dwellings are in fact under heated ».¹ « To elaborate, it is believed that in poor performing dwellings, the occupants are encouraged to conserve by the intrinsic poor performance of the dwelling itself (for example—never heat unoccupied bedrooms), while the situation in well-performing dwellings is opposite since a small increase in overall indoor temperature causes only a small change in the total energy bill. »² « [...] the DBTA seems to be positive in poor performing dwellings ».³ « On the other hand, underpredictions are characterised by an actual consumption higher than the theoretical, which occurs in well performing dwellings ».⁴

¹ MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Statistical model of the heating prediction gap in Dutch dwellings : Relative importance of building, household and behavioural characteristics », *Energy and buildings*, 2015, Vol.105, pp. 43-59.

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

« Last but not least, dwelling energy performance also relates to occupants' comfort—the better the performance, the higher the comfort ».¹

« [...] one can see that label category has a significant correlation with all consumption variables [...] ».²

« Furthermore, the paper has proven that a positive DBTA has completely different causes than a negative one. The two issues should be addressed separately also in the future. If enough data is present it might also be a good idea to analyse the DBTA in different label classes separately ».³

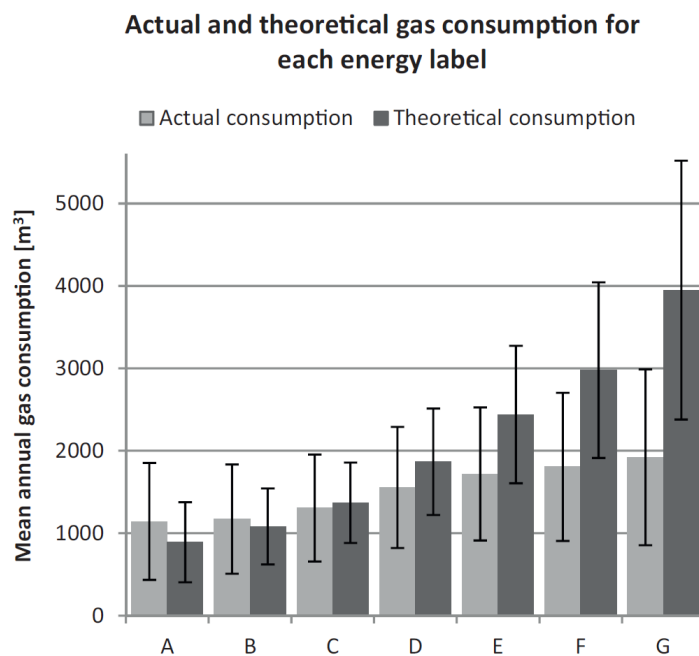


Figure 1 : « Actual and theoretical gas consumption for each energy label »⁴

¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

Confort	« According to several authors, occupant behaviour and lifestyle is thought to be a key factor in the discrepancy between theoretical and actual heating energy use and is correlated to energy performance itself ».¹ « Though difficult to describe statistically, occupant behaviour seems to be one of the reasons for actual energy use not coinciding with theoretical ».² « Under the term behaviour, we understand factors such as : presence at home, setpoint temperature, ventilation practices, number of showers number of heated bedrooms, heating of halls etc. showed that a composite variable describing efficient vs. inefficient behaviour would account for more than half (51%) of the variation in heating energy use ».³ « Occupant behaviour proved once more to give a large effect on heating consumption, in particular theoretical, where it accounts for almost half of the variance. Also in theoretical consumption and in the DBTA the behaviour accounts for over 7.5 and 9.1% of variance, which is still remarkable ».⁴ « Water saving shower head and programmable thermostat are the two factors that seem to effect DBTA in underpredictions but these two were not significant with regard to theoretical gas use ».⁵
---------	---

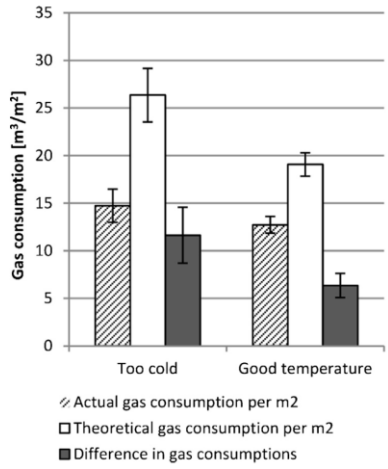
¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

	 Figure 2 : « Actual, theoretical consumption and DBTA per m2 floor area in dwellings with difference temperature perceptions »¹
Thermostat	« Furthermore, dwellings with a programmable thermostat seem to be correlated with a higher heating demand than those without ».² « Dwellings with an electrical boiler or a programmable thermostat have a significantly lower theoretical gas consumption and DBTA than those without ».³ « Water saving shower head and programmable thermostat are the two factors that seem to effect DBTA in underpredictions but these two were not significant with regard to theoretical gas use ».⁴
Type de chauffage	« Ref. also found that the difference between theoretical and actual consumption strongly depend on the theoretical thermal characteristics of the building itself and little on the theoretical performance (efficiency) of heating energy systems. Another important factor was whether the heating system was centrally controlled and the surface area of the dwelling ».⁵

¹ Ibid.

² Ibid.

³ Ibid.

⁴ Ibid.

⁵ Ibid.

« [...] the lower the theoretical efficiency the larger the DBTA which could mean that the efficiency of 'poor' heating systems is underestimated ».¹

" [...] a gas boiler without hot water reserve has the highest theoretical gas use followed by an electrical boiler and finally a boiler with hot water storage and the same goes for actual gas user and DBTA ».²

« Regarding the DBTA and the separate regression for under and for overprediction it seems that whereas in overpredictions (poor performing dwellings) a big role is played by the installation system ».³

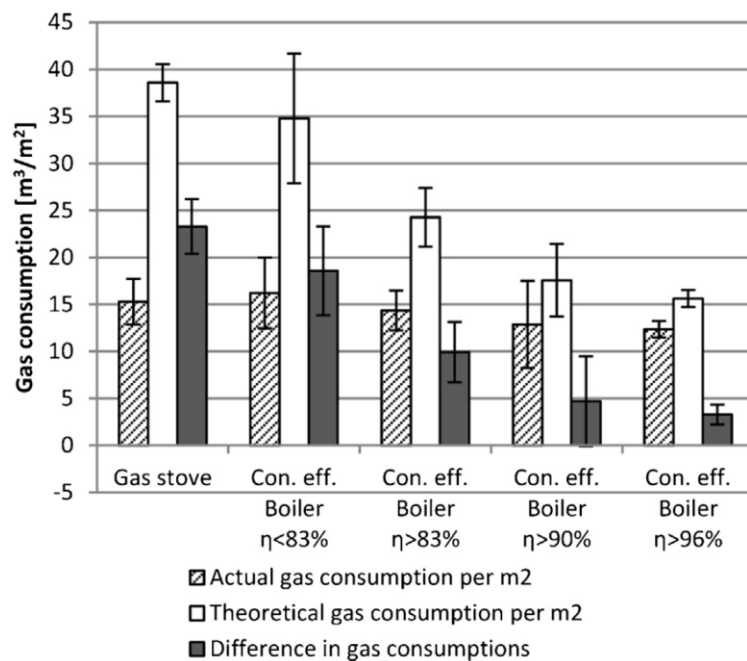


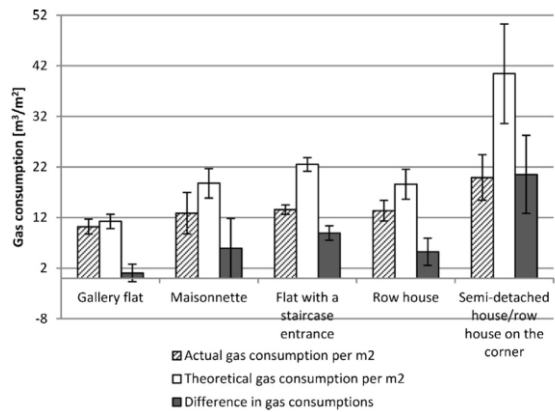
Figure 3 : « Actual, theoretical consumption and DBTA per m2 floor area of different installation types in the Rekenkamer sample »⁴

¹ Ibid.

² Ibid.

³ Ibid.

⁴ Ibid.

Type de ventilation	« Similar to the above, dwellings with a mechanical ventilation fare better than the ones with natural ventilation in theoretical as well as actual gas use. The overprediction seems to be higher in dwellings with less efficient systems in general ». ¹
Typologie du bâti	« Regarding the dwelling characteristics, Lindén et al. found that occupants in detached houses adopt a lower set point temperature than those in apartments ».² « In both samples, gallery apartments have the lowest theoretical and actual gas consumption and flats with a staircase entrance are significantly higher in both ».³ « [...] dwelling type plays a role regarding the theoretical gas use and the DBTA. Gallery apartments seem to have a smaller DBTA than other types » .⁴ « Regarding the DBTA and the separate regression for under and for overprediction it seems that whereas in overpredictions (poor performing dwellings) a big role is played by the [...] dwelling type».  Figure 4 : « Actual, theoretical consumption and DBTA per m2 floor area of different dwelling types in the Rekenkamer sample »⁵

¹ Ibid.

² Ibid.

³ Ibid.

⁴ Ibid.

⁵ Ibid.

Revenus du ménage	« [...] people with lower income tend to have a lower indoor temperature ».¹ « Another interesting correlation which is present in both data's is the amount of spendable income and theoretical gas use ; people with more money use less gas, probably because people with a higher income tend to occupy better performing dwellings ».² « there is a smaller overprediction in households which are better off and lower actual gas use, which probably confirms the fact that richer people occupy better labelled dwellings ».³
Période de construction	« Refs. and French et al. all found a negative correlation between dwelling age and set point temperature ».⁴ « Both datasets show strong correlations of consumptions with building year. The older the building, the higher the actual and theoretical consumptions, where the theoretical consumptions correlate almost twice as strongly as the actual. Older dwellings also correlate with a larger DBTA ».⁵ « Regarding the DBTA and the separate regression for under and for overprediction it seems that whereas in overpredictions (poor performing dwellings) a big role is played by the [...] age ».⁶
Superficie	« WoOn data suggest that a larger number of rooms leads to bigger discrepancies between actual and theoretical gas use; however, this was not confirmed using Rekenkamer data ».⁷ « In the Rekenkamer sample, floor area remains a good predictor of actual gas use even though the consumptions are corrected for the dwellings floor area. It seems that even with the correction, larger dwellings consume less gas per m2. WoON sample does not

¹ Ibid.

² Ibid.

³ Ibid.

⁴ Ibid.

⁵ Ibid.

⁶ Ibid.

⁷ Ibid.

	demonstrate this correlation, but there is a correlation in this sample between floor area and theoretical gas use/DBTA ». ¹
Nombre d'habitants	« Furthermore, studies also explore a multitude of household related characteristics that could influence actual energy use, such as number of occupants, which tend to be correlated with a higher energy consumption ». ² « Continuous variables. A larger number of occupants correlates with higher actual gas use in the case of Rekenkamer data. This was not confirmed using WoON data, however, the difference and the theoretical gas use in WoON data did correlate with number of occupants and were smaller in dwellings with more occupants ». ³
Locataire/propriétaire	« Type of ownership was not a significant variable in the Rekenkamer sample, as opposed to the WoON 2012 study [...] owner occupant dwellings are underrepresented ». ⁴
Âge des habitants	« Past studies have also shown that older occupants prefer a higher indoor temperature ». ⁵ « Older respondents are correlated with a higher actual gas use in WoON dataset ». ⁶

¹ *Ibid.*

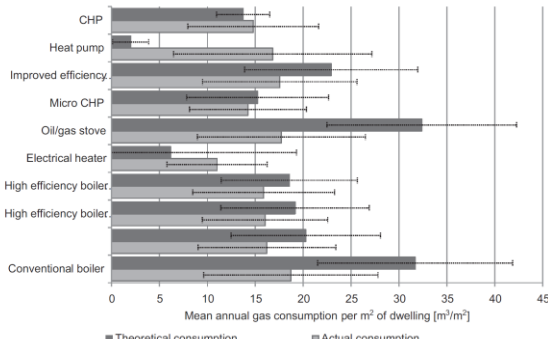
² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

⁶ *Ibid.*

	MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings : What causes the differences ? », 2013
Classe énergétique	« [...] about the overestimation of heating energy consumption in energy-inefficient dwellings and [...] concerning the underestimation in energy-efficient dwellings. » ¹
Confort	« [...] average indoor temperature was found to have a large influence on the theoretical gas consumption together with the ventilation rate ». ²
Thermostat	« For example, households with a programmable thermostat are more likely to keep the heating for longer than households with a manual thermostat ». ³
Type de chauffage	« When a heat pump is present, there is usually under-floor heating so that the whole floor area is heated ; meanwhile in older dwellings heated using a gas stove, the nature of the installation prevents the occupant from heating all the rooms ». ⁴  Figure 5 : « Gas consumptions per m2 dwelling per installation type »⁵

¹ MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings : What causes the differences ? », *Energy policy*, 2013, Vol.61, pp. 460-471.

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

Typologie du bâti	« Terraced houses located on corners and ground-floor flats surrounded by two others have higher gas consumption in both actual and theoretical terms ».¹ « The predictive power of dwelling types was very similar for both actual and theoretical gas consumption, which suggests that dwelling type is not responsible for the large discrepancies ».²
Revenus du ménage	« Results for salary per person in the household are similar – this predictor is insignificant for theoretical gas consumption, but an income that is €10,000 higher annually is associated with an increase in actual gas consumption of 8 m3 ».³
Période de construction	« The age of the dwellings is a significant predictor of theoretical and actual consumption, predicting a similar increase in both ».⁴
Superficie	« This means that in larger dwellings, the difference between theoretical and actual gas consumption is relatively larger than in small dwellings ».⁵ « It can be concluded that a larger floor area does not raise actual energy use as much as the estimates would lead us to believe. This could be due to occupant behaviour: in large houses, it is unlikely that all rooms will be heated evenly ».⁶
Nombre d'habitants	« The number of occupants together with internal heat load have a more limited impact on theoretical gas consumption. »⁷
Locataire/propriétaire	« The beta values for the 'private rental' dummy are insignificant, but owner-occupied dwellings seem to have a slightly higher theoretical gas consumption than the social dwellings ».⁸ « On the other hand, actual gas consumption in owner-occupied dwellings is about 50 m3 less than in social housing, which could be

¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

⁶ *Ibid.*

⁷ *Ibid.*

⁸ *Ibid.*

	attributable to better insulation in owner-occupied dwellings or to different behaviour ». ¹
Prix du bâtiment	« Interestingly, for a dwelling worth €100,000 or more, there will be 38 m3 more theoretical consumption, whereas actual consumption will be 97 m3 higher ». ²

	AYDIN Erdal, KOK Nils, BROUNEN Dirk, « Energy efficiency and household behavior : the rebound effect in the residential sector », 2017
Classe énergétique	« The predictions of consumption are lower than the realized gas consumption for efficient dwellings and the reverse is true for inefficient dwellings ». ³
Confort	« The findings in this article confirm the important role of household behavior in determining the outcomes of energy efficiency improvement programs ». ⁴ « The higher variation in actual gas consumption may be explained by behavioral factors, such as time at home, comfort preferences, etc ». ⁵
Typologie du bâti	« Comparing the statistics plotted in Figure 2, we document quite similar patterns. The dwelling type cannot explain why actual gas consumption is so different from what would be expected from the label. For all dwelling types (apartments, semidetached dwelling, corner dwelling, and detached dwellings), we find underestimations

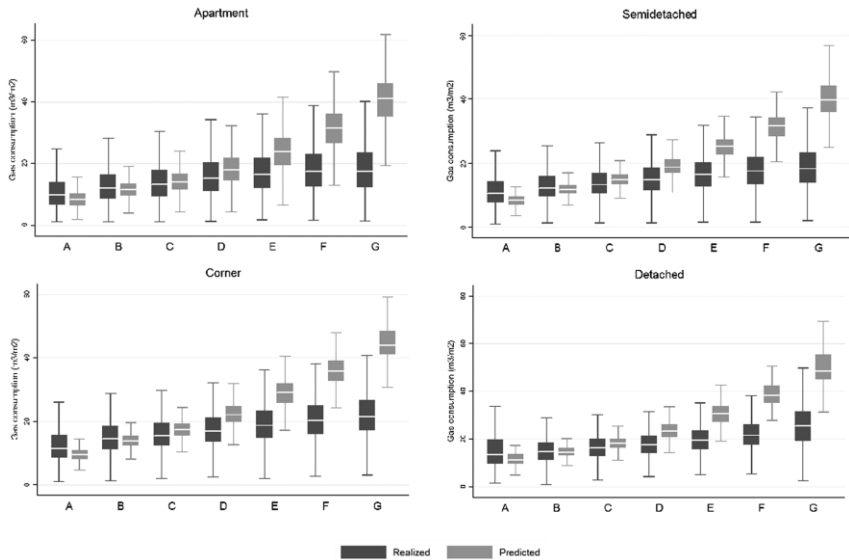
¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ AYDIN Erdal, KOK Nils, BROUNEN Dirk, « Energy efficiency and household behavior : the rebound effect in the residential sector », *The Rand journal of economics*, 2017, Vol.48 (3), pp. 749-782.

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

		of gas consumption for energy efficient dwellings, and over-estimations for inefficient dwellings ». ¹  Figure 6 : « Predicted versus actual annual gas consumption by dwelling type » ²
Revenus du ménage	du	« We also document significant heterogeneity in the rebound effect, determined by household wealth and income [...] ». "We document that the rebound effect is strongest among lower income groups [...] ». ³ « For the lowest quantile, the rebound effect is nearly 49%, whereas it is in the range of 38%–40% for the upper quantiles. These results imply that wealth and income matter for the behavioral response of homeowners and tenants to the energy efficiency of a dwelling ». ⁴ « The rebound effect for the lowest wealth quantile is about 40%, whereas it is just 19% for the highest wealth quantile ». ⁵
Période de construction	de	« We assume that there is a significant correlation between predicted gas consumption and construction year. This assumption

¹ Ibid.

² Ibid.

³ Ibid.

⁴ Ibid.

⁵ Ibid.

	relies on the improvements in the quality of building materials and introduction of stricter building codes ». ¹
Superficie	« This finding implies that the estimated average rebound effect is not driven by the engineering assumptions on the size of heated space ». ² « Comparing the over-time changes in predicted and actual gas use per m2, we observe that the relative change in energy efficiency is higher than the realized relative change in actual energy use per m2, which can be considered an indication of potential rebound effect ». ³
Nombre d'habitants	« We find that, as the household size increases by one person, there is an increase in residential gas consumption by about 10%, with a decreasing marginal effect in larger households ». ⁴
Locataire/ propriétaire	« The results show a rebound effect of 26.7% among homeowners, and 41.3% among tenants ». ⁵ « According to these results, if the efficiency of an average dwelling is doubled, this will lead to a 59% reduction in the energy consumption of rental dwellings and a 73% reduction in energy consumption of owner-occupied dwellings ». ⁶ « The predictions of consumption are lower than the realized gas consumption for efficient dwellings and the reverse is true for inefficient dwellings ». ⁷ « [...] the deviations between predicted and realized gas consumption are larger for tenants. This difference may be explained by the income and wealth differences between the two subsamples, as we expect the households with lower income and

¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

⁶ *Ibid.*

⁷ *Ibid.*

wealth levels to be more sensitive to cost changes resulting from energy efficiency improvements ».¹

« [...] more wealthy households are less sensitive to changes in the cost of thermal comfort ».²

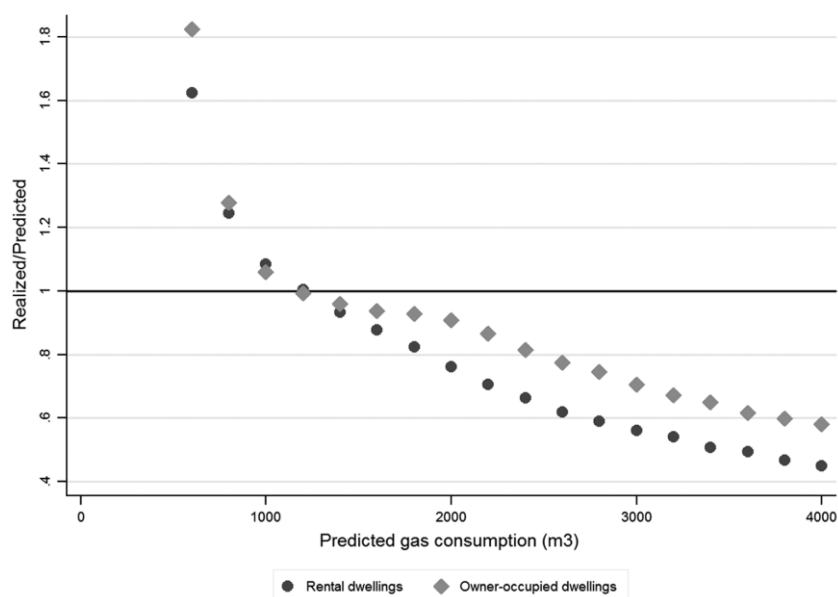
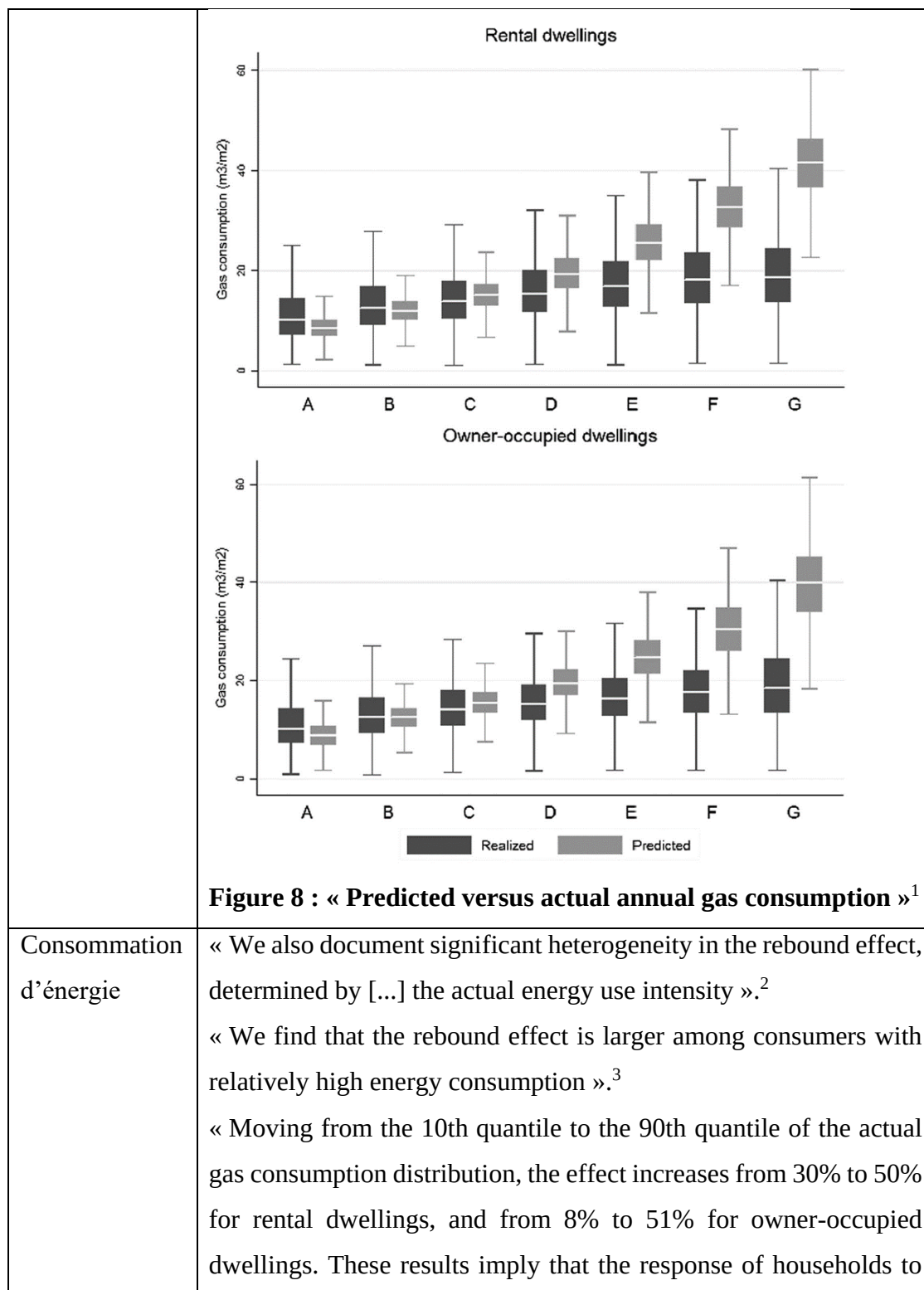


Figure 7 : « actual/predicted annual gas consumption »³

¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ *Ibid.*



¹ Ibid.

² Ibid.

³ Ibid.

	improvements in energy efficiency depends on their actual gas consumption intensity level. This can be partially explained by the nonlinear characteristic of the rebound effect—if a household resides in a highly inefficient dwelling (with a higher theoretical and actual gas consumption level), we can expect that this household will have a stronger behavioral response to energy efficiency improvements ». ¹
Aides financières	« For the households that participated in the energy efficiency subsidy program, we show that the efficiency improvements in their homes led to a rebound effect of around 55% ». ² « This simple calculation indicates that there is a reduction of about 15% in the actual gas consumption as a result of a 35% increase in the theoretical energy efficiency level of the dwellings in the participant group. This suggests at an average rebound effect of 57% for the treated dwellings ». ³

	O. GUERRA Santin, « Occupant behaviour in energy efficient dwellings : evidence of a rebound effect », 2012
Classe énergétique	« [...] households living in more energy efficient dwellings prefer above-average indoor temperatures, although this did not necessarily go hand in hand with higher energy consumption ». ⁴ « A more intensive use of the heating system and preferences for less ventilation were found for households living in energy efficient dwellings ». ⁵ « Energy consumption is lower in energy efficient dwellings. However, further analysis of the behaviour determinants showed

¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ O. GUERRA Santin, « Occupant behaviour in energy efficient dwellings : evidence of a rebound effect », *Journal of housing and the built environment*, 2012, Vol.28 (2), pp. 311-327.

⁵ *Ibid.*

	their occupants tend to prefer higher indoor temperatures and fewer hours of ventilation ». ¹
Confort	« Occupant behaviour has a significant effect on energy consumption, given the higher temperature settings in dwellings with insulation, mechanical ventilation and more efficient temperature control. This conclusion is confirmed by other international studies, temperature in daytime and in bedrooms and the mean indoor temperature are connected with direct rebound ». ² « Results from (Guerra Santin and Itard 2010) showed that the number of hours that the heating system and radiators are turned on is more important than the temperature setting [...] ». ³
Thermostat	« Analysis of energy consumption and type of temperature control indicates that dwellings with thermostats consume more energy than dwellings with manual valves in radiators. However, the most energy consuming houses were those without any type of temperature control ». ⁴ « Type of temperature control appears to have contrary effects, since thermostats are related to higher energy consumption but to lower scores for heating behaviour (i.e. below average settings) ; meaning that occupants of houses with thermostats keep the temperature lower than occupants of houses without thermostat. However, previous studies have indicated that energy consumption is more affected by hours of use than by thermostat settings. There seems therefore to be evidence of a rebound effect on heating behaviour, although this does not immediately show on energy consumption. More intensive heating behaviour does not totally counteract the energy savings, but it does undermine the energy efficiency of the building ». ⁵

¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

Type de chauffage	« The presence of more advanced control of heating and ventilation systems does not in general lead to a decrease in energy consumption as it would be expected ». ¹
Type de ventilation	« The presence of more advanced control of heating and ventilation systems does not in general lead to a decrease in energy consumption as it would be expected ». ² « Mechanical ventilation systems did not show a reduction on energy consumption in comparison to naturally ventilated houses. Households in dwellings with natural ventilation tend to ventilate more than households in other dwellings ». ³
Revenus du ménage	« Although it was shown that households with lower incomes ventilate more ». ⁴
Période de construction	« Some results were in accordance with assumptions, such as the relationship between lower energy consumption and the presence of insulation, multi-family dwellings, and recently built dwellings (after 1996) ». ⁵ « Occupants of dwellings with insulation, built in more recent periods, and with mechanical ventilation opted for higher indoor temperature settings ». ⁶ « Dwellings built before 1946 and after 1996 tend to be ventilated for fewer hours than dwellings from other periods. This finding are related to higher levels of infiltration in older dwellings and the sub-optimal use of mechanical exhaust and balance ventilation systems in newer dwellings ». ⁷
Nombre d'habitants	« Some results were in accordance with assumptions, such as the relationship between lower energy consumption and the presence of

¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

⁶ *Ibid.*

⁷ *Ibid.*

	insulation, multi-family dwellings, and recently built dwellings (after 1996) ».¹ « In addition, occupants of multi-family dwellings (usually smaller and with smaller heat transfer surface) also keep higher indoor temperatures. Scores for ventilation behaviour are higher in single-family dwellings than in multi-family dwellings ».²
--	---

	MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual heating energy savings in thermally renovated Dutch dwellings », 2016
Classe énergétique	« This means that an efficient technology (such as thermally renovated dwellings) cut energy bills but thereby encourage increased consumption. Next to the rebound effect, the term ‘pre-bound effect’ can also be found in the literature, describing the overprediction of consumption in old, inefficient dwellings ». ³
Type de chauffage	« It seems that better performing systems in general exhibit a smaller performance gap, such as boilers with a higher efficiency ».⁴ « Two very notable performance gaps were the one in local gas heater and on-demand tankless water boilers and naturally ventilated buildings ».⁵ « high R and low U values of insulation are well predicted, as well as efficient heating systems ».⁶ « On the other hand low R and high U values, local heating systems, changes from a non-condensing into a condensing boiler and upgrades to a natural ventilation system are not well predicted ».⁷

¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual heating energy savings in thermally renovated Dutch dwellings », *Energy Policy*, 2016-10, Vol.97, pp. 82-92.

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

⁶ *Ibid.*

⁷ *Ibid.*

Type de ventilation	« [...] seems to suggest the savings when replacing a natural ventilation system with mechanical exhaust ventilation to be at least three times as high as expected. The theoretical gas consumption barely reduces after the renovation ».¹ « The most remarkable considering individual measures, is the reduction in dwellings with an improved ventilation systems achieving a 2.5 times higher reduction than predicted ».² « It seems that better performing systems in general exhibit a smaller performance gap, such as [...] mechanical ventilation ».³
---------------------	---

	BRØGGER Morten, BACHER Peder, MADSEN Henrik, B. WITTCHEN Kim, « Estimating the influence of rebound effects on the energy-saving potential in building stocks », 2018
Classe énergétique	« In general terms, the former suggests that the building users tend to increase the comfort level after an energy upgrade, while the latter suggests that people tend to accept a poor indoor environment in poorly in- sulated buildings ». ⁴
Confort	« In the study, all differences in the relationship between (Q calc) and (Q reg) were attributed to pseudo-rebound effects, i.e. differences in user behaviour related to the thermal standard of the building ». ⁵
Typologie du bâti	« In practice, this suggested that multi-family houses were much less subject to rebound effects than single-family houses, thereby offering a larger energy-saving potential due to energy-upgrading of the building envelope ». ⁶

¹ *Ibid.*

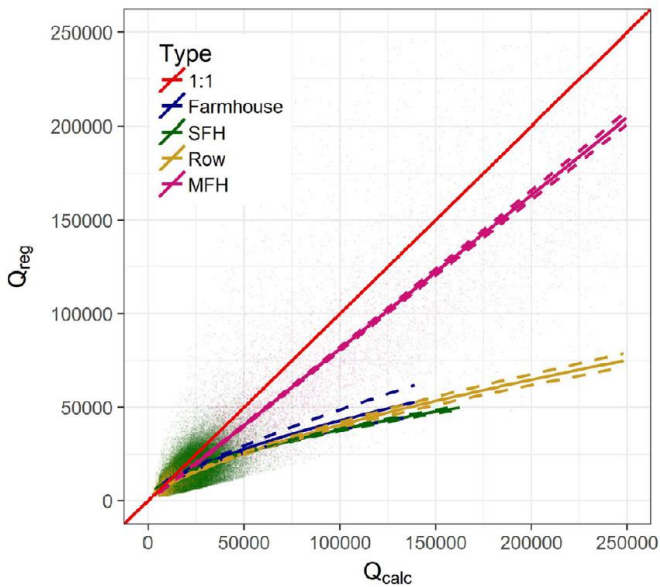
² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ BRØGGER Morten, BACHER Peder, MADSEN Henrik, B. WITTCHEN Kim, « Estimating the influence of rebound effects on the energy-saving potential in building stocks », *Energy and buildings*, 2018, Vol.181, pp. 62-74.

⁵ *Ibid.*

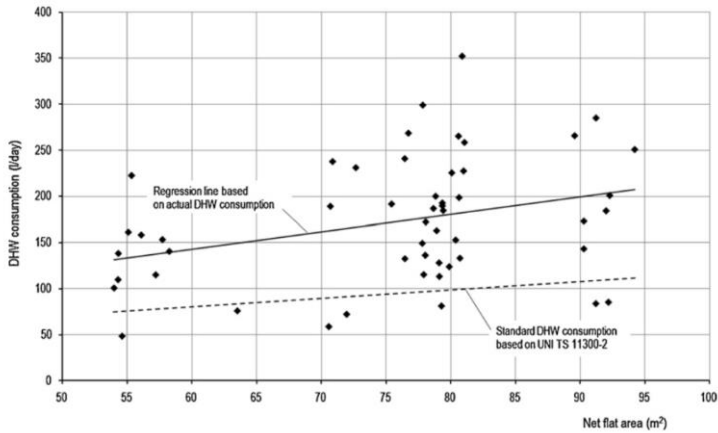
⁶ *Ibid.*

	« Fig. 6 clearly illustrates the difference in energy-saving potential (i.e. rebound effect) between the four buildings types ».¹  Figure 9 : « Relationship between Q calc and Q reg for the four building types »²
--	---

	DALL'O' Giuliano, SARTO Luca, SANNA Nicola, MARTUCCI Angelo, « Comparison between predicted and actual energy performance for summer cooling in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy) », 2012
Classe énergétique	« This paper reports and comments on the results of monitoring a high-performance building located in Milan. The study showed that the real performance, calculated using data from three selected flats, was consistent with that calculated during the certification procedure, assuming that the users maintain an internal temperature consistent with the standard temperature of 20°C throughout the heating season.

¹ Ibid.

² Ibid.

	However, consumption data are not homogeneous, and often, real consumption values are higher than theoretical ones ». ¹
Confort	« If we look at the flats in the same column, which have the same plant and the same orientation, the energy consumptions are different. These differences are caused only by the behaviour of the users. »²  Figure 10 : « DHW consumption in l/g m² of each flat compared with the values reported in italian standard UNI/TS 11300 »³

	GALVIN Ray, « Targeting ‘behavers’ rather than behaviours : A ‘subject-oriented’ approach for reducing space heating rebound effects in low energy dwellings », 2013.
Classe énergétique	« A similar problem is evident in many new energy-efficient homes, where actual heating fuel consumption may be significantly higher than calculated ». ⁴

¹ DALL’O’ Giuliano, SARTO Luca, SANNA Nicola, MARTUCCI Angelo, « Comparison between predicted and actual energy performance for summer cooling in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy) », *Energy and buildings*, 2012-11, Vol.54, p.234-242.

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ GALVIN Ray, « Targeting ‘behavers’ rather than behaviours : A ‘subject-oriented’ approach for reducing space heating rebound effects in low energy dwellings », *Energy & Buildings*, 2013-12, Vol.67, pp. 596-607.

Thermostat	« [...] thermostat set point temperature to have the highest correlation with consumption ». ¹ « Thirdly, the behaviours that lead to overconsumption in this group – in particular high thermostat settings and possibly also extravagant window opening periods – are not problematic in the medium (or light) consumption groups ». ²
Consommation d'énergie	« Consumption patterns supported the division of households into 'light', 'medium' and 'heavy' consumers, each showing a normally distributed picture of consumption. Heavy consumers (23% of households) consumed 52% of the space heating energy, medium consumers (57% of households) consumed 45% and light consumers (20% of households) consumed 3% ». ³

	HENS Hugo, « Energy efficient retrofit of an end of the row house : Confronting predictions with long-term measurements », 2010
Classe énergétique	« The calculated results in fact overestimate real end use. As a consequence, the classic energy efficiency measures resulted in 28% less avoided energy than predicted ». ⁴
Type de ventilation	« With 32 MWh/year, avoided consumption the effect of upgraded insulation, better air-tightness and a more efficient ventilation and heating system remains impressive ». ⁵

	E. SCHEEPENS Arno, G. VOGTLÄNDER Joost, « Insulation or Smart Temperature Control for Domestic Heating : A Combined Analysis
--	--

¹ *Ibid.*

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ HENS Hugo, « Energy efficient retrofit of an end of the row house : Confronting predictions with long-term measurements », *Energy and buildings*, 2010, Vol.42 (10), pp. 1939-1947.

⁵ *Ibid.*

	of the Costs, the Eco-Costs, the Customer Perceived Value, and the Rebound Effect of Energy Saving », 2018.
Classe énergétique	« For well insulated houses, HEMS [thermostat] is less effective ». ¹
Thermostat	« Even if the more intelligent thermostats are considered, which are designed to diminish the hassle of programming and adjusting the settings by ‘sensing/learning’ the user’s behaviour, the physical heating system will require a ‘heat-up time’, resulting in thermal discomfort if the occupants deviate from their usual behaviour. This will eventually lead to users overriding the automatic programming, and decreasing the energy savings ».² « Although many smart thermostats are accompanied by high claims for energy savings, a seemingly more reliable figure is measured by a producer of a popular thermostat, who stated that the average savings of 175,000 devices are approximately 5%. The potential of 14.5% savings, in Table 1, will not last, because of the fact that the corresponding extra 5% loss of comfort is not accepted ; the user reverts to a higher setback temperature and a smaller setback time. [...] This paper assumes slightly higher achievable energy savings of 6.5%, accounting for future innovations as well as user behaviour ».³

	KANE Tom, FIRTH Steven, DIMITRIOU Vanda, COLEMAN Michael, HASSAN Tarek, <i>Exploring the performance gap in UK homes : new evidence from smart home and smart meter data</i> , 2015
--	---

¹ E. SCHEEPENS Arno, G. VOGTLÄNDER Joost, « Insulation or Smart Temperature Control for Domestic Heating : A Combined Analysis of the Costs, the Eco-Costs, the Customer Perceived Value, and the Rebound Effect of Energy Saving », *Sustainability*, 2018, Vol.10 (9), 3231 p.

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

Classe énergétique	« When the measured external temperature was used in the model the discrepancy between measured and modelled energy use was reduced but on average was still large (55%) ». ¹
Période de construction	« No relationship between the size of the discrepancy and the age of construction was evident which suggests that there is no systematic problem with the model's heat loss assumptions ». ²
Superficie	« The performance gap was greater in larger homes, suggestion that the models overestimation of whole dwelling heat loss increases with floor area ». ³

¹ KANE Tom, FIRTH Steven, DIMITRIOU Vanda, COLEMAN Michael, HASSAN Tarek, *Exploring the performance gap in UK homes : new evidence from smart home and smart meter data*, Loughborough University, 2015, disponible à l'adresse suivante : <https://hdl.handle.net/2134/19982> (consultée le 14 août 2020).

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

7) Interprétations

Comme précisé plus haut, les analyses et les conclusions que nous pouvons tirer du tableau se divisent ici en trois temps.

Dans un premier temps, seul le tableau synoptique sera pris en compte : son observation permettra de reconnaître quels paramètres sont plus largement étudiés que d'autres. On pourra également se pencher sur leur impact, en observant quels paramètres semblent en avoir le plus, et quels paramètres semblent en avoir le moins. Nous pourrions également déterminer quels paramètres semblent les plus incertains entre les études (c'est-à-dire ceux pour lesquels les études obtiennent des résultats très différents).

Ensuite, nous procéderons à un résumé des études, en compilant les différentes informations fournies par chacune des études, afin d'observer les similitudes et les différences.

Pour finir, nous chercherons à comprendre les différences précédemment observées entre les études, pour en déterminer la cause, et définir alors de nouvelles conclusions, plus personnelles.

a) Interprétations du tableau synoptique

On observe de prime abord que la classe énergétique semble être un élément déterminant dans chaque étude. En effet, impossible de passer à côté de cette information primordiale lorsque l'on mène une étude sur la consommation énergétique. Toutes les études que nous avons pu feuilleter, même celles écartées et donc non reprises dans le tableau, mentionnaient les classes énergétiques, et observaient de fortes différences entre les classes plus performantes et les classes les moins performantes.

Le tableau est assez vide, en effet il est rempli à seulement 35%. Cela peut signifier que le sujet est trop peu étudié. On remarque également facilement quels paramètres manquent de documentation : la présence de subsides, le prix du bâtiment ou l'âge des habitants ne cochant qu'une case, ce qui signifie qu'ils ne sont mentionnés qu'une seule fois chacun parmi toutes les études.

Le code couleur met en avant les différences de résultats pour un paramètre donné, même si ces résultats sont issus d'une réflexion et d'une analyse personnelle liées à ce qui détermine ce paramètre, car il est difficile de classer entre eux des éléments qui sont tantôt chiffrés, quelquefois écrits et parfois sous forme de graphiques. On observe que la typologie du bâti ou encore le nombre d'habitants sont des paramètres qui font « débat ». Certaines études considèrent en effet ces paramètres comme déterminants, alors que d'autres ne leur prêtent pas la même importance. Il sera intéressant de s'y pencher pour trouver les causes de ces désaccords.

Enfin, certains paramètres sont plus unanimes. En plus de la classe énergétique, le confort, le type de chauffage, les revenus du ménage, la période de construction et le type de propriété semblent être décrits comme des paramètres déterminants par rapport à l'effet rebond dans le bâtiment. À l'inverse, le type de ventilation semble ne pas être déterminant *a priori*.

b) Résumé et compilation des études

Ici, nous allons procéder à un résumé compilatoire de ce qui est écrit dans les différentes études. Chaque paramètre est décrit individuellement en reprenant les informations référencées dans les études du tableau.

- Classe énergétique : La classe énergétique est l'élément qui détermine le plus l'effet rebond. Les classes énergétiques élevées (A++, A+, A, B) sont plus sujettes à observer un effet rebond. À l'inverse, les classes énergétiques basses, estimées moins performantes (D, E, F, G) sont moins sujettes à observer un effet rebond. En effet, dans ces catégories de logements, on observe plutôt l'effet inverse : l'effet prébond. Là où l'effet rebond consiste en une augmentation de l'utilisation d'un service suite à la baisse du coût de celui-ci, l'effet prébond, quant à lui, décrit une diminution de l'utilisation d'un service par rapport aux estimations théoriques. Les figures 11 et 12 ci-dessous représentent bien les deux phénomènes. La classe énergétique « C » est la classe la plus précise au niveau des estimations théoriques par rapport à la consommation réelle : on n'y observe généralement ni effet rebond ni effet prébond. La littérature manque d'un chiffrage précis de l'effet rebond par catégorie, mais beaucoup de graphiques existent. Les manières de représenter la classe énergétique et les unités choisies sont parfois différentes entre les différentes études, mais le lien entre classe énergétique et effet rebond est visible et unanime. L'effet prébond est également très visible, mais hors-sujet.

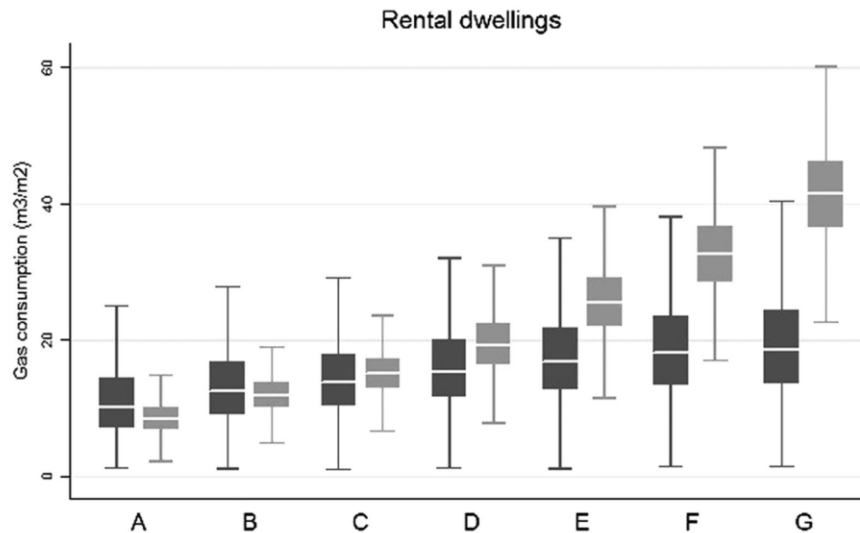


Figure 11 : « Predicted versus actual annual gas consumption »¹

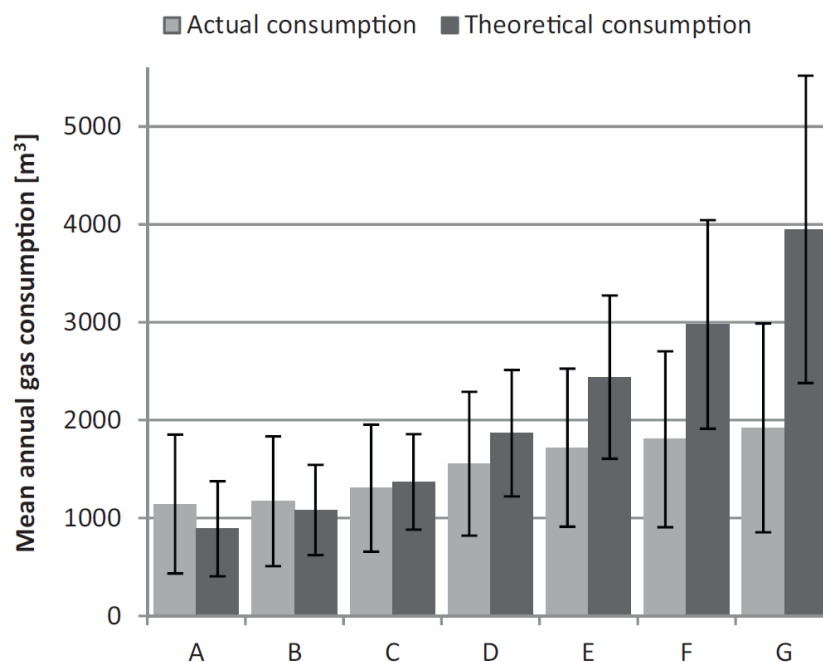


Figure 12 : « Actual and theoretical consumption for each energy label »²

¹ AYDIN Erdal, KOK Nils, BROUNEN Dirk, « Energy efficiency and household behavior : the rebound effect in the residential sector », *The Rand journal of economics*, 2017, Vol.48 (3), pp. 749-782.

² MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Statistical model of the heating prediction gap in Dutch dwellings : Relative importance of building, household and behavioural characteristics », *Energy and buildings*, 2015, Vol.105, pp. 43-59.

- Confort : le confort désigne ici toutes les préférences, toutes les habitudes de l'habitant, qui influencent la consommation d'énergie. On parle donc notamment de température intérieure, de temps de chauffage, de surface de plancher chauffée, de nombre de douches, de temps de ventilation naturelle ou artificielle, etc. Les études ne sont pas toujours claires sur ce qui est analysé quand elles se penchent sur ce paramètre du confort, mais elles s'accordent sur le fait que les préférences et habitudes de l'habitant jouent un rôle déterminant sur la consommation d'énergie en général et sur l'effet rebond.

Selon Aydin et al., « les comportement efficaces ou inefficaces représenteraient plus de la moitié (51%) de la variation de la consommation d'énergie de chauffage ».¹

- Thermostat : les logements équipés de thermostats consomment en moyenne plus d'énergie que les logements sans thermostat. Selon Guerra et al., « L'analyse de la consommation d'énergie et du type de contrôle de température indique que les logements équipés de thermostats consomment plus d'énergie que les logements équipés de radiateurs à régler manuellement. Cependant, les maisons les plus énergivores sont celles qui ne disposent d'aucun type de contrôle de température ».² L'information est donc à nuancer. Majcen et al. (2013) et Guerra et al. (2012) détaillent l'origine potentielle de cette différence, expliquant que les logements équipés de thermostats ont tendance non pas forcément à augmenter la température intérieure, mais à augmenter la durée de chauffage. Scheepens et al.³, qui étudient précisément une gamme de thermostats, décrivent un potentiel de 14,5% d'économies d'énergies, réduites à seulement 5% en moyenne, notamment à cause de l'effet rebond.

¹ AYDIN Erdal, KOK Nils, BROUNEN Dirk, « Energy efficiency and household behavior : the rebound effect in the residential sector », *The Rand journal of economics*, 2017, Vol.48 (3), pp. 749-782.

² O. GUERRA Santin, « Occupant behaviour in energy efficient dwellings : evidence of a rebound effect », *Journal of housing and the built environment*, 2012, Vol.28 (2), pp. 311-327.

³ E. SCHEEPENS Arno, G. VOGTLÄNDER Joost, « Insulation or Smart Temperature Control for Domestic Heating : A Combined Analysis of the Costs, the Eco-Costs, the Customer Perceived Value, and the Rebound Effect of Energy Saving », *Sustainability*, 2018, Vol.10 (9), 3231 p.

- Type de chauffage : Le type de chauffage peut décrire les ressources utilisées (gaz, électricité, bois, etc.) ou le mode de fonctionnement du chauffage (chauffage centralisé pour un groupe de logements ou chauffage individuel). Les différentes études sont plus mitigées quant à l'importance de ce paramètre, mais toutes décrivent que le type de chauffage influence l'effet rebond, d'une manière ou d'une autre. Majcen et al. (2015), détaillent que « plus l'efficacité théorique est faible, plus la DBTA (difference between theoretical and actual) est élevée, ce qui pourrait signifier que l'efficacité des 'mauvais' systèmes de chauffage est sous-estimée ».¹ Majcen et al. (2015) classent également en termes de consommation réelle et en termes de DBTA différents type de chauffage du plus au moins performant : « [...] une chaudière à gaz sans réserve d'eau chaude a la plus forte consommation théorique de gaz, suivie d'une chaudière électrique et enfin d'une chaudière avec réserve d'eau chaude et il en va de même pour la consommation réelle de gaz et la DBTA ».² Pour Majcen et al. (2013)³, un certain type de chauffage peut influencer un comportement, ils utilisent l'exemple d'un chauffage sol qui oblige l'occupant à chauffer toute la surface. Un autre exemple utilisé est le cas des logements plus anciens, qui utilisent un chauffage à gaz et qui ne peuvent pas facilement chauffer toutes les chambres. Dans son étude de 2016, Majcen confirme que les chaudières à gaz sans réserve d'eau chaude sont les appareils qui présentent la plus grande différence entre la consommation théorique et la consommation réelle.
- Type de ventilation : ce paramètre est nettement moins impactant que les autres, selon les différentes études. Cet impact moins significatif est probablement dû au fait que l'énergie dépensée pour la ventilation occupe une part moins importante que l'énergie liée au chauffage. Cependant, quelques observations ponctuelles peuvent retenir notre attention. « La présence d'un contrôle plus

¹ MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Statistical model of the heating prediction gap in Dutch dwellings : Relative importance of building, household and behavioural characteristics », *Energy and buildings*, 2015, Vol.105, pp. 43-59

² *Ibit.*

³ MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings : What causes the differences ? », *Energy policy*, 2013, Vol.61, pp. 460-471.

avancé des systèmes de chauffage et de ventilation n'entraîne pas en général une diminution de la consommation d'énergie comme on pourrait s'y attendre »¹ déclarent Guerra et al. (2012). Guerra et al. observent donc la présence d'un effet rebond notamment lié aux systèmes de ventilation et exprime également que les ménages dans les logements avec ventilation naturelle ont tendance à ventiler davantage que d'autres logements.. Majcen et al. (2016) montrent un écart entre les estimations des réductions d'énergie et les réductions d'énergie réelles : « les logements équipés d'un système de ventilation amélioré, qui a atteint une réduction 2,5 fois supérieure aux prévisions ». ² Hens (2010)³ soutient également cette hypothèse. On a donc ici une contradiction entre les études. Mais elles s'accordent cependant sur l'aspect plus négligeable de ce paramètre.

- Typologie du bâti : comme amorcé précédemment, la typologie du bâti semble être moins unanime parmi les études. Certaines le classent comme un élément déterminant de l'effet rebond, d'autres ont observé des valeurs peu significatives. Majcen et al. (2015)⁴, valident le côté déterminant de ce paramètre. Dans cette étude, il est décrit que les immeubles à appartements semblent avoir une moindre différence entre consommation théorique et consommation réelle que les autres typologies de bâti. Il est important de noter cependant que cette étude confond prébond et rebond, ce qui peut nous amener à nous distancier quelque peu des informations que l'on peut y trouver.

¹ O. GUERRA Santin, « Occupant behaviour in energy efficient dwellings : evidence of a rebound effect », *Journal of housing and the built environment*, 2012, Vol.28 (2), pp. 311-327.

² MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual heating energy savings in thermally renovated Dutch dwellings », *Energy Policy*, 2016-10, Vol.97, pp. 82-92.

³ HENS Hugo, « Energy efficient retrofit of an end of the row house : Confronting predictions with long-term measurements », *Energy and buildings*, 2010, Vol.42 (10), pp. 1939-1947.

⁴ MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Statistical model of the heating prediction gap in Dutch dwellings : Relative importance of building, household and behavioural characteristics », *Energy and buildings*, 2015, Vol.105, pp. 43-59.

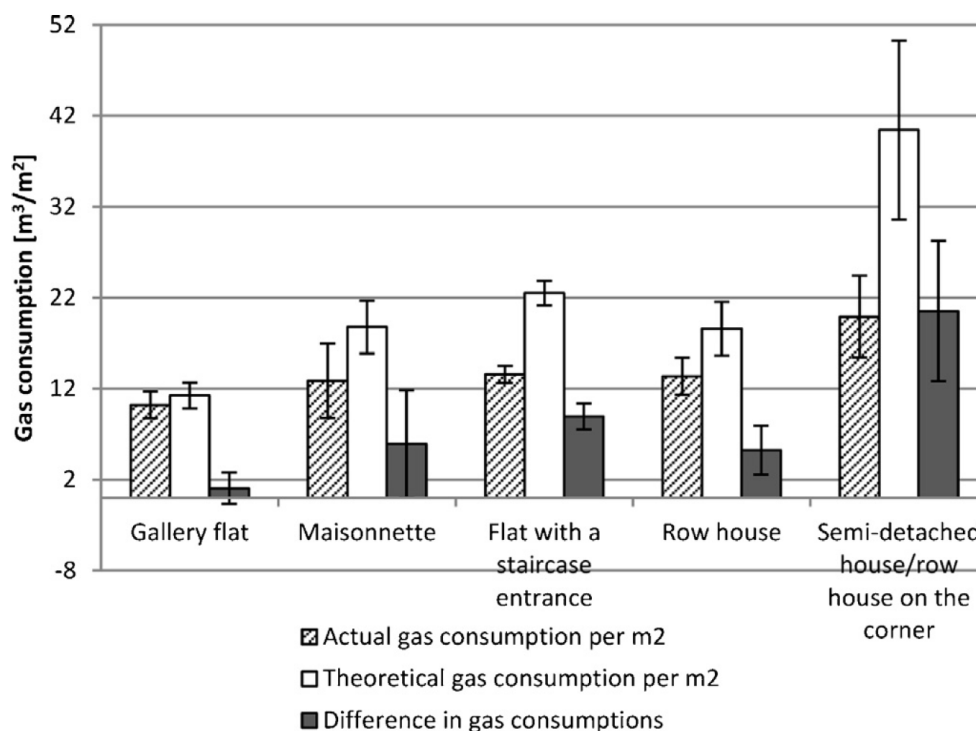


Figure 13 : « Actual, theoretical consumption and DBTA per m2 floor area of different dwelling types »¹

Majcen et al., en 2013, avaient décrit que « les prédictions pour différents types d'habitation étaient très similaire entre la consommation de gaz réelle et théorique, ce qui suggère que la typologie du bâti n'est pas responsable d'écarts importants ».² Pour Aydin et al. (2017), la typologie du bâti n'influence pas l'effet rebond. Il explique en effet que l'effet rebond est visible de la même façon indépendamment des différentes typologies, en suivant approximativement les mêmes courbes sur les graphiques comparatifs. « Le type d'habitation ne peut pas expliquer pourquoi la consommation réelle de gaz est si différente de ce que l'on attendrait de l'étiquette. Pour tous les types de logement, nous trouvons des sous-estimations de la consommation de gaz pour les logements à faible consommation d'énergie, et des surestimations pour les

¹ *Ibid.*

² MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings : What causes the differences ? », *Energy policy*, 2013, Vol.61, pp. 460-471.

logements inefficaces ».¹ Brøgger et al. (2018) affirment le contraire : certaines typologies seraient plus sujettes à un effet rebond que d'autres. Ils décrivent : « En pratique, cela suggère que les maisons multifamiliales sont beaucoup moins sujettes aux effets de rebond que les maisons individuelles, offrant ainsi un plus grand potentiel d'économie d'énergie grâce à l'amélioration énergétique de l'enveloppe du bâtiment ».² Les graphiques suivants comparent les effets rebonds pour différentes typologies.

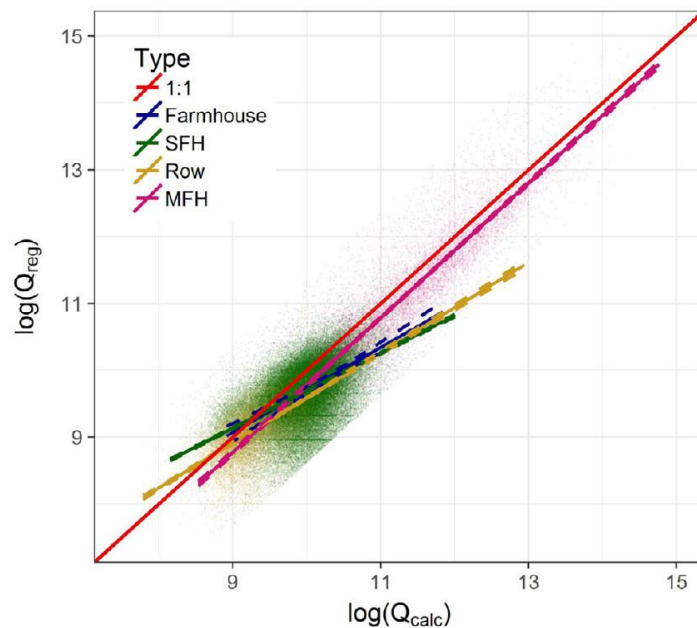


Figure 14 : « Relationship between Q_{calc} and Q_{reg} for the four building types »³

1 :1 représente une consommation estimée et réelle qui sont égales

Farmhouse : Maison 4 façades

SFH : single family house : Maison unifamiliale

Row : Maison mitoyenne

MFH : Multi family house

¹ AYDIN Erdal, KOK Nils, BROUNEN Dirk, « Energy efficiency and household behavior : the rebound effect in the residential sector », *The Rand journal of economics*, 2017, Vol.48 (3), pp. 749-782.

² BRØGGER Morten, BACHER Peder, MADSEN Henrik, B. WITTCHEN Kim, « Estimating the influence of rebound effects on the energy-saving potential in building stocks », *Energy and buildings*, 2018, Vol.181, pp. 62-74.

³ *Ibid.*

- Revenus du ménage : cette caractéristique est étroitement liée à la classe énergétique. En effet, plusieurs études mentionnent dans les données que la performance énergétique d'un bâtiment est en moyenne proportionnelle avec les revenus du ménage. Les logements les plus performants sont donc habités par les plus aisés, et inversement, les logements les moins performants sont souvent habités par les familles plus modestes. À partir de cette observation, Majcen et al. (2015) détaillent « une autre corrélation intéressante qui est présente dans les deux données est le revenu en rapport avec la consommation théorique de gaz ; les personnes ayant plus d'argent consomment moins de gaz, probablement parce que les personnes ayant un revenu plus élevé ont tendance à occuper des logements plus performants ».¹ On parle ici de consommation théorique et non pas d'effet rebond. Aydin et al. (2017) documentent que l'effet rebond est plus grand dans les groupes aux revenus plus bas. Cette affirmation est sans doute liée au fait que les plus pauvres ont tendance à sous-chauffer leur logement : l'effet rebond serait ici un effet rebond « légitime », qui permettrait par exemple à une famille d'arriver aux standards de confort. Aydin et al. chiffrent que « L'effet de rebond pour le quantile de richesse le plus faible est d'environ 40%, alors qu'il n'est que de 19% pour le quantile de richesse le plus élevé ».² On parle ici des 10% les plus pauvres et des 10% les plus riches. Majcen et al. (2013) obtenaient des résultats non pas opposés, mais différents, en décrivant que « Les résultats pour le salaire par personne dans le ménage sont similaires - ce paramètre est insignifiant pour la consommation théorique de gaz, mais un revenu supérieur de 10 000 euros par an est associé à une augmentation de la consommation réelle de gaz de 8 m³ ».³ Ce résultat indique qu'on observe chez les personnes les plus aisées un effet rebond plus important. Nous comparerons plus en profondeur ces résultats lors de nos conclusions.

¹ MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Statistical model of the heating prediction gap in Dutch dwellings : Relative importance of building, household and behavioural characteristics », *Energy and buildings*, 2015, Vol.105, pp. 43-59.

² AYDIN Erdal, KOK Nils, BROUNEN Dirk, « Energy efficiency and household behavior : the rebound effect in the residential sector », *The Rand journal of economics*, 2017, Vol.48 (3), pp. 749-782.

³ MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings : What causes the differences ? », *Energy policy*, 2013, Vol.61, pp. 460-471.

- Période de construction : dans toutes les études, l'année de construction est un paramètre déterminant pour la consommation d'énergie théorique. Les bâtiments les plus anciens consomment en moyenne plus d'énergie que les bâtiments plus récents. Guerra et al. (2012) expliquent à ce sujet que « certains résultats étaient conformes à des hypothèses, comme la relation entre une consommation d'énergie plus faible [...] dans les habitations récemment construites (après 1996) ». ¹ Concernant l'effet rebond, deux études ont noté une influence de la période de construction. Guerra et al. affirment que les logements construits après 1996 et avec une ventilation mécanique, sont chauffés par l'habitant à une température intérieure plus élevée.

- Superficie : les différentes études se mettent d'accord sur le fait que la superficie d'un logement est directement liée à l'effet rebond. C'est-à-dire qu'un logement plus grand est plus sujet à l'effet rebond qu'un logement plus petit. L'effet reste léger. Majcen (2013) explique que « cela pourrait être dû au comportement des occupants : dans les grandes maisons, il est peu probable que les pièces soient toutes chauffées de la même manière ». ²

- Nombre d'habitants : une contradiction entre les études est également visible. Certaines voient le nombre d'habitants comme un paramètre déterminant, d'autres ne lui accordent pas tant d'importance. Toutes se mettent d'accord, de manière assez logique, pour affirmer qu'un plus grand nombre d'habitants est lié à une plus grande consommation théorique et mesurée. La valeur est de 10% de plus par habitant supplémentaire selon Aydin et al. (2017). Pour Majcen et al. (2015) il y a une plus petite différence entre la consommation estimée et la consommation réelle dans les foyers avec plus d'habitants. Ce qui signifie que les plus grandes familles sont moins sujettes à l'effet rebond. En 2013, Majcen

¹ O. GUERRA Santin, « Occupant behaviour in energy efficient dwellings : evidence of a rebound effect », *Journal of housing and the built environment*, 2012, Vol.28 (2), pp. 311-327

² MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings : What causes the differences ? », *Energy policy*, 2013, Vol.61, pp. 460-471.

et al. affirmaient cependant que le rôle du nombre d'individus sous le même toit était limité. Guerra et al. (2012) font la même observation que Majcen (2015), les familles plus larges observeraient moins d'effets rebonds, tout comme les groupements de familles par exemple dans un immeuble à appartements. Guerra et al. (2012) détaillent cependant « En outre, les occupants de logements multifamiliaux (généralement plus petits et avec une surface de transfert de chaleur plus petite) conservent également des températures intérieures plus élevées. Les scores relatifs au comportement de ventilation sont plus élevés dans les habitations individuelles que dans les habitations multifamiliales ».¹

- Locataire / Propriétaire : le nombre d'études traitant ce sujet est plus limité, mais elles s'entendent pour dire que ce paramètre est déterminant. La différence entre un logement en location ou un logement occupé par son propriétaire est en effet visible au niveau de l'effet rebond. On lit chez Majcen et al. (2013) que malgré qu'ils aient une consommation théorique légèrement plus élevée, les logements habités par leurs propriétaires consomment en moyenne 50m³ de moins que les logements loués (des logements sociaux dans ce cas précis). Les chiffres sont plus parlants chez Aydin et al. (2017) : un effet rebond de 26,7% chez les propriétaires contre 41,3% chez les locataires. Ils expliquent que « les écarts entre la consommation de gaz prévue et réalisée sont plus importants pour les locataires. Cette différence peut s'expliquer par les différences de revenu et de richesse entre les deux sous-échantillons, car nous nous attendons à ce que les ménages ayant des niveaux de revenu et de richesse plus faibles soient plus sensibles aux changements de coûts résultant des améliorations de l'efficacité énergétique ».²

¹ O. GUERRA Santin, « Occupant behaviour in energy efficient dwellings : evidence of a rebound effect », *Journal of housing and the built environment*, 2012, Vol.28 (2), pp. 311-327.

² AYDIN Erdal, KOK Nils, BROUNEN Dirk, « Energy efficiency and household behavior : the rebound effect in the residential sector », *The Rand journal of economics*, 2017, Vol.48 (3), pp. 749-782.

- Consommation d'énergie : on parle ici de profil d'utilisateur plus enclin à la consommation d'énergie, indépendamment de la classe énergétique de son bâtiment. Galvin (2013) classe les consommateurs en trois catégories de profils. D'abord, les « grands consommateurs », correspondant à 23% des logements et consommant 52% de l'énergie totale. Ensuite, les « consommateurs moyens », correspondant à 57% des logements et consommant 45% de l'énergie totale. Enfin, les « petits consommateurs », correspondant à 20% des logements, et consommant seulement 3% de l'énergie totale. L'idée de Galvin serait de plutôt cibler les gros consommateurs, qui ont une plus grande marge à gagner par rapport aux autres classes. D'autant plus que pour Aydin et al. (2017), ce sont ceux qui ont une consommation relativement élevée qui ont le plus grand effet rebond dans leur consommation d'énergie.

- Aides financières : une seule étude se penche séparément sur les logements subventionnés d'une part, et les logements non subventionnés d'autre part. Aydin et al. (2017) donnent le chiffre de 55-57% d'effet rebond pour les logements ayant reçu une aide pour une rénovation énergétique. Ce paramètre peut être éventuellement relié au paramètre de revenus des ménages, étant donnés les conditions requises pour obtenir une subvention.

- Prix du bâtiment : comme pour l'information précédente, ce genre de paramètre peut être lié aux revenus des ménages. Majcen et al. (2013) détaillent « pour une habitation de 100 000 euros ou plus, il y aura 38 m³ de consommation théorique en plus, alors que la consommation réelle sera supérieure de 97 m³ ». ¹

- Âge des habitants : Majcen et al. (2015), citant un ouvrage², expliquent que les habitants plus âgés avaient tendance à avoir la température intérieure de leur

¹ MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings : What causes the differences ? », *Energy policy*, 2013, Vol.61, pp. 460-471.

² O. GUERRA Santin, *Actual energy consumption in dwellings: The effect of energy performance regulations and occupant behaviour*, Amsterdam, IOS Press, 2010.

logement plus élevée. Une information similaire, dans le même document, est observée dans la base de données WoON.

c) Conclusions personnelles

L'analyse des différents paramètres à travers toutes les études nous permet de mettre en évidence les plus déterminants. La classe énergétique est très déterminante : les bâtiments performants sont nettement plus exposés aux effets rebonds que les bâtiments peu performants. Ces derniers sont même sujet à l'effet prébond : ils consomment en moyenne moins que ce qui est estimé.

La notion de confort, bien que difficile à quantifier, est le paramètre le plus déterminant. C'est le seul qui puisse expliquer que deux logements identiques, occupés par un même nombre de personnes, aient une consommation qui puisse autant différer.

Sans généralisation excessive, les paramètres techniques ont une forte corrélation entre eux, et renvoient à des caractéristiques sociales. À la place d'étudier des paramètres techniques des logements, il serait plus intéressant pour l'architecte de se pencher sur les caractéristiques sociales, culturelles, et éducationnelles des habitants. Cette observation renvoie à une idée que nous avons avancée dans la partie consacrée au point de vue de l'architecture : celle de réconcilier l'habitat et l'habitant, et de ne pas se concentrer uniquement sur l'étude du bâtiment seul comme objet technique.

Nous soulevons donc encore une fois le manque de littérature et d'études sociologiques, qui permettraient aux architectes de relier les nombreuses revues de sciences-économiques à la pratique architecturale.

Nous déplorons également un manque d'études par classe énergétique. En effet, l'effet rebond dans les classes énergétiques les plus performantes nous semble plus pertinent à calculer. Car dans les classes énergétiques les moins performantes, quand on n'y constate pas un effet prébond, on peut y observer un effet rebond que nous pourrions qualifier de légitime. Cette légitimité vient du fait que les habitants, avant la rénovation de leur logement, avaient un niveau de confort assez faible, en dessous des normes, et que ces rénovations leur ont par conséquent permis de « rattraper » ce niveau de confort standard.

8) Conclusion générale

Le rôle de l'architecte ne se résume pas à appliquer mécaniquement des normes de performance. Il ne consiste pas non plus à détacher l'habitant de son habitat, par le biais de technologies auxquelles il sera plus ou moins hermétique, plus ou moins docile.

Il ne nous semble pas qu'il y ait de réponses absolues, technologiquement, techniquement, à un effet rebond dû aux diversités sociales, économiques, culturelles, idéologiques – bref, humaines – et aux différences individuelles qu'elles impliquent.

Pour résumer l'étude qui serait utile pour l'architecte et qui manque à la littérature : celle qui étudie par classe énergétique les différences sociales, culturelles et éducationnelles des habitants, en rapport avec leur consommation d'énergie réelle. À travers les analyses des différentes études parcourues pour l'élaboration de ce travail, nous avons pu identifier ce qui manque précisément à l'étude de l'effet rebond. Peut-être ces observations pourront-elles servir de base à une nouvelle étude ? L'avenir nous le (rebon)dira ...

9) Bibliographie

A. GREENING Lorna, GREENE David L, DIFIGLIO Carmen, « Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey », *Energy policy*, 2000, Vol.28 (6-7), pp. 389-401.

ANDERSSON David, LINSKOTT Ross et NÄSSÉN Jonas, « Estimating car use rebound effects from Swedish microdata », *Energy efficiency*, 2019, Vol.12 (8), pp. 2215-2225.

AYDIN Erdal, KOK Nils, BROUNEN Dirk, « Energy efficiency and household behavior : the rebound effect in the residential sector », *The Rand journal of economics*, 2017, Vol.48 (3), pp. 749-782.

BRØGGER Morten, BACHER Peder, MADSEN Henrik, B. WITTCHEN Kim, « Estimating the influence of rebound effects on the energy-saving potential in building stocks », *Energy and buildings*, 2018, Vol.181, pp. 62-74.

COLLET Roger, KEMEL Emmanuel, HIVERT Laurent et CADIC Ifsttar, « Evidence for an endogenous rebound effect : long-run car use elasticity to fuel price », *Economics Bulletin*, 2011, Vol.31 (4), pp. 2777-2786.

DALL'O' Giuliano, SARTO Luca, SANNA Nicola, MARTUCCI Angelo, « Comparison between predicted and actual energy performance for summer cooling in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy) », *Energy and buildings*, 2012-11, Vol.54, p.234-242.

DUDEN Barbara et ROBERT Jean, *Illich, seconde période*, France, Editions Esprit, 2010, 136 p.

E. SCHEEPENS Arno, G. VOGTLÄNDER Joost, « Insulation or Smart Temperature Control for Domestic Heating : A Combined Analysis of the Costs, the Eco-Costs, the Customer Perceived Value, and the Rebound Effect of Energy Saving », *Sustainability*, 2018, Vol.10 (9), 3231 p.

FRAGNIÈRE, Augustin, « Les deux vies d'Ivan Illich », *La Vie des idées*, 24 novembre 2010. ISSN : 2105-3030, disponible à l'adresse suivante <https://laviedesidees.fr/Les-deux-vies-d-Ivan-Illich.html> (consultée le 14 août 2020).

GALVIN Ray, « Targeting 'behavers' rather than behaviours : A 'subject-oriented' approach for reducing space heating rebound effects in low energy dwellings », *Energy & Buildings*, 2013-12, Vol.67, pp. 596-607.

HENS Hugo, « Energy efficient retrofit of an end of the row house : Confronting predictions with long-term measurements », *Energy and buildings*, 2010, Vol.42 (10), pp. 1939-1947.

HERRING Horace, ROY Robin, « Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect », *Technovation*, 2007, Vol.27 (4), pp. 194-203.

- ILLICH Ivan, *La Convivialité*, Paris, Éditions du Seuil, 1973, 11 p.
- JEVONS W.S., *On the variation of prices and the value of the currency since 1782*, J. Stat. Soc. Lond. 28, 1865, p.294-320.
- KANE Tom, FIRTH Steven, DIMITRIOU Vanda, COLEMAN Michael, HASSAN Tarek, *Exploring the performance gap in UK homes : new evidence from smart home and smart meter data*, Loughborough University, 2015, disponible à l'adresse suivante : <https://hdl.handle.net/2134/19982> (consultée le 14 Août 2020).
- KANE Tom, FIRTH Steven, DIMITRIOU Vanda, COLEMAN Michael, HASSAN Tarek, *Exploring the performance gap in UK homes : new evidence from smart home and smart meter data*, Loughborough University, 2015, disponible à l'adresse suivante : <https://hdl.handle.net/2134/19982> (consultée le 14 Août 2020).
- KHAZZOOM Daniel, « Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances », *Energy Journal*, 1980, 1(4), pp. 21-40.
- LENORMAND Pascal, *Le design énergétique des bâtiments*, Paris, Afnor Éditions, 2018.
- MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings : What causes the differences ? », *Energy policy*, 2013, Vol.61, pp. 460-471.
- MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Statistical model of the heating prediction gap in Dutch dwellings : Relative importance of building, household and behavioural characteristics », *Energy and buildings*, 2015, Vol.105, pp. 43-59.
- MAJCEN Daša, ITARD Laure, VISSCHER Henk, « Actual heating energy savings in thermally renovated Dutch dwellings », *Energy Policy*, 2016-10, Vol.97, pp. 82-92.
- O. GUERRA Santin, « Occupant behaviour in energy efficient dwellings : evidence of a rebound effect », *Journal of housing and the built environment*, 2012, Vol.28 (2), pp. 311-327.
- O. GUERRA Santin, *Actual energy consumption in dwellings : The effect of energy performance regulations and occupant behaviour*, Amsterdam, IOS Press, 2010.
- Service public de Wallonie, *Guide pratique pour construire votre logement Q-ZEN*, Namur, SPW Éditions, 2017, 2 p.
- STAPLETON Lee, SORRELL Steve et SCHWANEN Tim, « Estimating direct rebound effects for personal automotive travel in Great Britain », *Energy economics*, 2016, Vol.54, pp. 313-325.
- ZÉLEM Marie-Christine, « Économies d'énergie : le bâtiment confronté à ses occupants », *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 2018, Vol.90 (2), p.26-34.