



Performance énergétique du logement et consommation d'énergie : les enseignements des données bancaires

Jeanne Astier et Ariane Salem, CAE, **Gabrielle Fack**, Paris Dauphine et CAE, **Julien Fournel et Flavie Maisonneuve**, Euro-Information, filiale technologique de Crédit Mutuel Alliance Fédérale

Alors que l'amélioration énergétique des bâtiments présente d'importantes opportunités d'économie d'énergie et de réduction des émissions de CO₂, le diagnostic de performance énergétique (DPE) des logements est devenu un outil clé de l'orientation des politiques publiques énergétiques et climatiques. Les modèles prévisionnels de demande énergétique et d'émissions de CO₂ du parc résidentiel sont en effet en partie fondés sur la consommation théorique des étiquettes DPE. Pour le grand public, locataires et acheteurs, le DPE signale les gains espérés des travaux de rénovation sur la facture énergétique. Cependant, la prédiction de consommation énergétique indiquée par le DPE peut différer de la consommation réelle des ménages, pour deux raisons principales :

- la consommation théorique, calculée par le DPE, et la consommation réelle peuvent différer car la première n'incorpore pas les comportements des ménages. Or, les ménages peuvent répondre à une plus grande performance énergétique de leur logement en modifiant leur comportement de consommation (effet rebond). Le DPE n'a certes pas vocation à modéliser la consommation réelle mais bien la performance des logements. Il est cependant essentiel de prendre en compte la réponse comportementale pour quantifier le gain attendu de la rénovation ;
- le modèle sous-jacent au DPE peut être un prédicteur imparfait de l'efficacité énergétique, ce qui peut conduire à surestimer les gains théoriques de la consommation hors ajustement.

On conçoit donc qu'il puisse y avoir un écart plus ou moins important entre consommation réelle et consommation théorique DPE et, compte tenu des enjeux, toute la question est de pouvoir apprécier son ampleur. Pour cela, il faut pouvoir disposer de données liant étiquette DPE des logements et consommation d'énergie. Par ailleurs, il faut pouvoir contrôler ces informations pour un ensemble de caractéristiques du logement et du ménage qui l'occupe, qui peuvent affecter la consommation énergétique.

Ce *Focus*, réalisé en partenariat avec le Crédit Mutuel Alliance Fédérale, vise à documenter l'écart entre consommation réelle et théorique de manière tout à fait inédite en s'appuyant sur la grande richesse des données bancaires des clients Crédit Mutuel Alliance Fédérale, en appariant celles-ci, via l'adresse des clients, à la base de données publique sur les DPE. Ces données permettent ainsi d'analyser la relation entre dépense et consommation d'énergie, d'une part, et performance énergétique du logement et déterminants socio-économiques, d'autre part. Ce *Focus* répond à ces questions : de combien les ménages dévient de leur consommation théorique en adaptant leur consommation en fonction du confort énergétique de leur logement ? Quelle est la qualité de la

prédiction de la performance énergétique des logements par la nouvelle méthode de calcul du DPE ? Quels sont les facteurs à mieux prendre en compte dans la modélisation de la performance ?

Si l'on observe bien une progressivité de la consommation réelle en fonction de la performance énergétique des logements, elle est cependant beaucoup moins forte que la consommation théorique du DPE et s'estompe pour les plus grands logements. Globalement, la hausse de la consommation d'énergie au m² entre un logement classé AB et un logement classé G est six fois plus faible que celle prédite par le DPE. Les effets comportementaux des ménages expliquent une part prépondérante de l'écart entre consommation théorique du DPE et consommation réelle. Ce dernier peut aussi s'expliquer dans une moindre mesure par des imperfections qui subsisteraient dans la modélisation ou la mise en œuvre du DPE. En termes de politiques publiques, ces résultats conduisent à chercher des pistes d'amélioration du DPE pour en faire un meilleur prédicteur et à encourager les efforts de sobriété énergétique parallèlement à la rénovation énergétique des logements car les ajustements comportementaux sont importants et peuvent conduire à limiter les gains espérés d'économies d'énergie et de réduction des émissions de CO₂.

Participation de Crédit Mutuel Alliance Fédérale

Première banque à adopter la qualité d'entreprise à mission, Crédit Mutuel Alliance Fédérale a contribué à cette étude en collaboration avec le Conseil d'analyse économique par l'analyse de données strictement anonymes de ses clients, sur les seuls systèmes d'information sécurisés de Crédit Mutuel en France. Pour Crédit Mutuel Alliance Fédérale, cette démarche « s'inscrit dans le cadre des missions qu'il s'est fixées :

- contribuer au bien commun en œuvrant pour une société plus juste et plus durable : en participant à l'information économique, Crédit Mutuel Alliance Fédérale réaffirme sa volonté de contribuer au débat démocratique ;
- protéger l'intimité numérique et la vie privée de chacun : Crédit Mutuel Alliance Fédérale veille à la protection absolue des données de ses clients ».

Le DPE, boussole de la politique de rénovation énergétique

Mis en place en 2006, le DPE¹ estime la consommation énergétique primaire et les émissions de CO₂ d'un logement selon un mode de calcul, révisé en 2021, qui prend en compte ses caractéristiques physiques et climatiques : la méthode 3CL (calcul de la consommation conventionnelle des logements). Le logement se voit ainsi attribuer une classe d'efficacité énergétique et climatique allant de A (la plus efficace) à G (la moins efficace). La consommation "théorique" prédite par le DPE est une mesure centrale pour modéliser les économies d'énergie et donc la décarbonation attendue d'une rénovation. C'est pourquoi l'étiquette DPE est utilisée notamment pour définir les priorités de rénovation de bâtiments et conditionnent les aides à la rénovation. Il est donc essentiel que ce diagnostic soit correctement établi, faute de quoi il risquerait de distordre toutes les politiques qui l'instrumentent. Pour les locataires et les acheteurs, c'est un outil d'information mais aussi d'incitation puisqu'il évalue l'économie attendue de consommation d'énergie en passant à une classe plus performante, et donc le bénéfice monétaire de la rénovation. Cependant, il y a plusieurs raisons de penser que la consommation théorique du DPE peut nettement différer de la consommation réelle.

Premièrement, parce que le DPE fait l'hypothèse que la demande de confort thermique est fixe : quelles que soient les caractéristiques du ménage, le confort thermique visé est de 19 °C en hiver et 28 °C en été. Cependant, les usagers peuvent avoir tendance à ajuster leur demande au-dessus ou en dessous de ce niveau fixe de confort, et ce, en fonction de l'étiquette DPE du logement. En effet, la demande de confort thermique est une fonction inverse de son coût. Or ce dernier diminue avec la performance thermique du logement. Il en découle que moins le logement est performant, plus ses occupants auront tendance à limiter leur consommation par rapport à leur consommation théorique, par un effet de sobriété. À l'inverse, dans les logements très performants, les occupants auront tendance à consommer au-delà de la consommation théorique par "effet rebond". Donc, si l'on s'en tient seulement au DPE ou que l'on mesure mal les adaptations de comportement des usagers, on surestime les gisements d'économie d'énergie. Or les modèles prévisionnels

¹ Le diagnostic de performance énergétique (DPE global) renseigne sur la performance énergétique et climatique d'un logement ou d'un bâtiment (étiquettes A à G), en évaluant sa consommation d'énergie (DPE « énergie ») et son impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre (DPE « climat »). Il s'inscrit dans le cadre de la politique énergétique définie au niveau européen afin de réduire la consommation d'énergie des bâtiments et de limiter les émissions de gaz à effet de serre, et sert notamment à identifier les passoires énergétiques (étiquettes F et G du DPE), c'est-à-dire les logements qui consomment le plus d'énergie et/ou émettent le plus de gaz à effet de serre. Il a pour objectif d'informer l'acquéreur ou le locataire sur la « valeur verte » du logement, de recommander des travaux à réaliser pour l'améliorer et d'estimer ses charges énergétiques.

de demande énergétique du parc résidentiel prennent en compte un ajustement comportemental calibré sur des données non actualisées (voir modèle [Res-IRF 3.0](#) et rapport sur les [coûts d'abattement de France Stratégie](#)).

Deuxièmement, parce que le DPE peut modéliser imparfaitement la performance énergétique. Le modèle 3CL s'appuie sur la performance énergétique conventionnelle des caractéristiques physiques du logement (bâti, isolation, chauffage, ouvertures, etc.) pour estimer une consommation énergétique au m². Or, la performance conventionnelle attribuée au bâti et aux équipements peut surestimer leur performance réelle, notamment en raison de malfaçon technique, comme le suggèrent certaines études². De plus, la performance énergétique peut être difficile à évaluer lorsque les caractéristiques physiques du logement ne sont pas homogènes du fait de différentes phases de rénovation. Enfin, la méthode 3CL conduit à noter différemment deux logements aux caractéristiques semblables mais de superficie différente. En effet, comme les besoins énergétiques sont calculés en fonction de la surface déperditive du logement (sol+murs extérieurs), puis rapportés à la surface au sol, cela produit mécaniquement une étiquette DPE plus faible pour les petites superficies où le rapport surface déperditive/surface au sol est plus élevé. On peut donc penser que la précision de ce diagnostic varie selon la superficie.

Troisièmement, parce que le DPE est manipulable du fait d'une trop grande subjectivité dans l'appréciation des paramètres, ce que dénoncent les experts et les associations de consommateurs. Ainsi, les enquêtes de consommateurs alertent sur l'incohérence des diagnostics pour un même logement, lequel peut se voir attribuer différentes classes énergétiques allant de B à E selon le diagnostiqueur³. Il est vrai qu'obtenir une bonne étiquette DPE est un enjeu de valorisation immobilière. De fait, on constate une surreprésentation des logements affichant une consommation à la frontière des seuils d'attribution des étiquettes⁴.

Pour toutes ces raisons, il peut exister un écart entre consommation réelle et consommation prédite, ce que la littérature appelle l'*energy performance gap*. Il apparaît donc crucial d'évaluer à quel point la prédiction du DPE peut s'écarter de la consommation réelle du fait des ajustements comportementaux et de l'erreur de mesure de la performance énergétique. Pour ce faire, l'évaluateur doit se doter tout à la fois de données sur la consommation des ménages, leurs caractéristiques socio-économiques et les caractéristiques de leur logement qui affectent leurs comportements de consommation, et de leur diagnostic de performance. Or les sources administratives ou d'enquête à jour depuis l'importante refonte du DPE manquent. La littérature française documentant l'*energy performance gap* se fonde sur les enquêtes de consommation énergétique antérieures à la réforme. [Bakaloglou et Charlier \(2021\)](#), et [Allibe \(2012\)](#)⁵ exploitent l'enquête Phebus de 2012 pour mettre en évidence un écart entre consommation réelle et prédite qui s'accroît avec l'étiquette DPE. [Blaise et Glachant \(2019\)](#) se fondent sur l'enquête en panel « maîtrise de l'énergie » entre 2000 et 2013 pour montrer le rebond dans la consommation après une rénovation énergétique. Dans les modèles utilisés pour réaliser des projections de réductions d'émissions de CO₂⁶, il est bien intégré un paramètre censé tenir compte de l'*energy performance gap*, mais toute la question est de savoir s'il est bien estimé : l'intensité d'utilisation, soit le rapport entre la consommation réelle et la consommation théorique, est en moyenne dans les modèles à 0,57. Celle-ci varie selon trois variables : le prix de l'énergie, la performance énergétique du logement (mesurée par son étiquette DPE) et le revenu du ménage occupant.

Pour la première fois, ce *Focus* documente l'écart entre consommation réelle et théorique du DPE depuis sa réforme, en 2021, et décompose l'effet de l'ajustement comportemental et de l'erreur de mesure en s'appuyant sur les données de comptes bancaires Crédit Mutuel Alliance Fédérale appariées au DPE du logement des clients (statistiques publiques de l'Ademe). En effet, les données bancaires nous informent sur la dépense d'énergie des ménages et sur les variables socio-économiques comme le revenu, la composition familiale, l'âge du chef de ménage. Nous les apparions aux caractéristiques du logement fournies par le DPE via leur adresse.

Pour comprendre le lien entre consommation prédite par le DPE et consommation réelle, notre raisonnement procède en plusieurs étapes. Nous cherchons d'abord à savoir si le DPE global se reflète dans les factures énergétiques des ménages, autrement dit si la variation de consommation prédite par le DPE se traduit par une variation dans les dépenses effectives des ménages. Puis, nous cherchons à comprendre si la consommation primaire réelle, laquelle

² Notamment [Allibe \(2012\)](#).

³ Que choisir (2022): « [Diagnostics de performance énergétique : du grand n'importe quoi, encore et toujours](#) », novembre.

⁴ [Girard et Abdelouadoud \(2022\)](#). Cette manipulation s'opère par exemple en modifiant la surface habitable lorsque le DPE est réalisé grâce à la méthode 3CL.

⁵ En particulier, l'élasticité réelle de consommation énergétique liée à la performance des chauffages semble moins élevée que l'élasticité conventionnelle utilisée dans les paramètres du DPE. Un des facteurs avancés étant l'écart entre performance théorique et performance réelle des chauffages, l'autre étant l'effet rebond, soit l'augmentation de l'intensité d'utilisation lorsque le prix de service baisse.

⁶ voir par exemple : www.centre-cired.fr/wp-content/uploads/2021/05/res-irf_synthesefinale_20181221-2.pdf

n'est pas proportionnelle aux dépenses et dépend du mix énergétique utilisé par le logement, est correctement prédite par le DPE « énergie ». Enfin, nous cherchons à établir le poids respectif du biais de mesure de la consommation théorique et des ajustements de comportement pour expliquer l'écart de performance énergétique.

Réforme du DPE par la loi Elan de juillet 2021

Le rôle important joué par le DPE dans la valorisation de la performance énergétique par les acteurs du marché justifie que la loi ELAN en 2021 ait non seulement unifié et objectivé sa méthode de calcul mais aussi rendu opposable le DPE.

C'est désormais la méthode 3CL (pour « calcul de la consommation conventionnelle des logements ») qui prime, laquelle se fonde sur un ensemble de caractéristiques physiques et climatiques du logement pour en déduire une consommation théorique annuelle d'énergie et une émission de gaz à effet de serre pour les usages liés au chauffage, au refroidissement, à l'eau chaude sanitaire, à l'éclairage et aux auxiliaires (VMC, pompes). Cette méthode a été perfectionnée par la loi ELAN dans le but d'estimer correctement la consommation de tous les logements, y compris les plus anciens dont la qualité du bâti est plus hétérogène. Avant la loi, l'édition d'un DPE pour les logements construits avant 1948 se faisait sur la base des factures d'énergie, donc sur la base d'une consommation observée. Outre une plus grande fiabilité et davantage de homogénéité du DPE, la loi a instauré son opposabilité. Cela signifie qu'en cas d'erreur du diagnostic, la responsabilité du vendeur ou du bailleur peut être engagée par l'acquéreur ou le locataire qui en subit le préjudice, les premiers pouvant eux-mêmes se retourner contre le diagnostiqueur.

Présentation des données

Dépenses énergétiques via les données bancaires

L'exploitation de données bancaires anonymes de clients particuliers Crédit Mutuel Alliance Fédérale⁷ nous permet d'approcher en temps réel à la fois le revenu et la consommation des ménages. Le revenu du ménage est mesuré à partir des chèques et des virements externes entrants. Ne sont ensuite conservées que les données des ménages pour lesquels un revenu significatif⁸ est détecté.

La dépense d'énergie liée au logement des ménages (hors carburant) est mesurée via les prélèvements des fournisseurs d'énergie⁹. Pour bien appréhender la partie variable de la dépense énergétique – hors coût fixe d'abonnement du fournisseur –, on soustrait 20 €¹⁰ à cette dépense mensuelle. On calcule ensuite la dépense énergétique variable sur 12 mois d'observation, entre mars 2022 et février 2023.

Comme la détection de dépenses énergétiques dans les comptes bancaires Crédit Mutuel Alliance Fédérale n'est pas toujours exhaustive car certains clients peuvent être multibancarisés et acquitter leurs dépenses énergétiques via d'autres comptes bancaires, nous excluons les ménages dont la dépense mensuelle moyenne variable d'énergie est inférieure à 20 €. De même, certaines dépenses d'énergie élevées, pouvant refléter des régularisations de factures atypiques ou des clients disposant de plusieurs logements dont ils assument les dépenses énergétiques, sont retirées de l'analyse. Ainsi, les clients du dernier centile de la distribution de la dépense variable mensuelle moyenne (soit 365 €) sont-ils exclus. Enfin, nous excluons les logements dont le type de chauffage est « collectif » ou « mixte » (≈32 % des foyers) de manière à se prémunir contre une appréciation imparfaite des dépenses autres que les prélèvements des fournisseurs d'énergie (charges de copropriété...).

Pour dériver de la dépense énergétique la quantité d'énergie consommée par chaque ménage, il faut connaître le mix énergétique utilisé par le ménage et le prix unitaire du kWh associé à chaque source d'énergie utilisée. Pour le mix énergétique, nous exploitons les données Ademe qui fournissent l'estimation de la consommation énergétique finale des

⁷ Exploitation réalisée au sein des structures informatiques sécurisées et hébergées en France de Crédit Mutuel Alliance Fédérale. Seules des données agrégées ont été mises à disposition du CAE.

⁸ Ménages ayant reçu au moins un virement ou un chèque externe entrant compris entre 600 € et 10 000 € de mars 2022 à février 2023.

⁹ Si la grande majorité des dépenses de gaz et d'électricité sont acquittées par prélèvement, il n'en est pas autant pour les dépenses de fioul ou de bois, dont le paiement est plutôt effectué par chèque, espèces ou virements. Pour cette raison, il n'est pas possible de mesurer la dépense pour ce type d'énergie et donc nous excluons de notre analyse les logements dont le chauffage principal est au fioul ou au bois.

¹⁰ Hypothèse centrale retenue, le coût de l'abonnement variant en fonction de la puissance souscrite et du nombre d'abonnements (électricité seule, électricité + gaz). Sources : Grille_prix_Tarif_Bleu.pdf (edf.fr) Grille_prix_Avantage_Gaz.pdf (edf.fr)

cinq usages retenus dans le DPE (voir encadré). Les prix moyens du gaz et de l'électricité au consommateur final sont fournis par la statistique publique^{11 et 12}. Ces informations nous donnent ainsi une estimation de la consommation finale des ménages, celle qui est facturée au point d'utilisation, c'est-à-dire après transformation des ressources en énergie et après leur transport. Or, c'est la consommation d'énergie primaire qui est calculée par le DPE, soit l'énergie contenue dans les ressources naturelles avant la transformation nécessaire à la production d'énergie finale. Par exemple, la consommation finale de 1 kWh d'électricité nécessite de transformer 2,3 kWh d'énergie primaire, en tenant compte du coefficient de conversion primaire en vigueur pour cette source d'énergie¹³. En revanche, le gaz, le fioul ou le bois sont bien des énergies primaires ; la dépense d'énergie des ménages utilisant ces sources de chauffage correspond à leur consommation réelle. Il apparaît donc essentiel d'estimer la consommation primaire des ménages pour ne pas sous-estimer le rapport entre la consommation d'énergie et le DPE des ménages utilisant l'électricité comme source primaire de chauffage. Le facteur de conversion de l'électricité finale en électricité primaire nous est donné par la réglementation. Nous calculons la consommation d'énergie primaire exprimée en kWh comme :

$$\text{consommation énergie primaire} = (\text{dépense finale} \cdot C_E) / [C_E \pi_i P_G + (1 - \pi_i) \cdot P_E]$$

avec π_i la part de la consommation primaire théorique de gaz dans la consommation primaire théorique totale estimée par le DPE, P_G le prix du gaz, P_E le prix de l'électricité et C_E le facteur de conversion de l'électricité en énergie primaire, fixé au niveau réglementaire de 2,3 (voir annexe 2).

Appariement avec la base de l'Ademe

Un appariement des données anonymes de clients Crédit Mutuel Alliance Fédérale et des données Ademe a été effectué¹⁴. Ce rapprochement a été fait via les adresses de clients bancaires et celles présentes dans la base de l'Ademe qui répertorie l'ensemble des DPE réalisés depuis juillet 2021 (sous la méthode 3CL)¹⁵. Les adresses utilisées pour rapprocher les données ne sont ni conservées ni utilisées dans la suite de l'étude.

L'adresse est la seule clé d'identification commune aux deux bases ce qui nous oblige à faire certaines hypothèses. En effet, plusieurs DPE peuvent être disponibles à une même adresse. Dans ce cas, nous retenons le ou les DPE les plus récents. Si plusieurs DPE sont disponibles à une même date (cas d'un logement collectif par exemple), nous retenons le DPE modal, soit le DPE le plus fréquent à cette adresse. On fait l'hypothèse que, pour le même immeuble, les différents logements présentent des caractéristiques proches et donc un DPE proche¹⁶.

Cette méthode d'appariement peut donc conduire à une erreur de mesure, dont la probabilité s'accroît pour les logements collectifs. En effet, plus les logements sont nombreux à la même adresse, plus le risque de mauvais appariement est important. De plus, ces DPE réalisés à la suite de certaines obligations légales peuvent être obsolètes et ne plus refléter la classe énergétique du bâtiment après qu'il a été rénové. Ce risque est plus fort chez les propriétaires, qui ne sont pas incités à faire un nouveau diagnostic de leur logement après rénovation. Ce biais d'obsolescence introduit une erreur de mesure du DPE propre à l'exploitation de cette base.

Pour prendre en compte ces deux erreurs potentielles de mesure, nous effectuons des tests de sensibilité des résultats à des sous-échantillons qui présentent différents risques d'erreur.

Après appariement des données Crédit Mutuel Alliance Fédérale et Ademe, nous conservons l'ensemble des ménages disposant d'un DPE 3CL¹⁷, de revenus domiciliés, d'un chauffage individuel fonctionnant au gaz ou à l'électricité, et d'une dépense d'énergie mensuelle moyenne, hors abonnement, comprise entre 20 € et 365 €, soit 178 110 ménages. L'échantillon est représentatif de la distribution des étiquettes DPE dans la base Ademe et des différentes caractéristiques de logement et de ménage à chaque classe (voir [annexe 3](#)).

¹¹ Service des données et études statistiques du ministère de l'Écologie

¹² Les prix du chauffage par réseau urbain étant plus hétérogènes (prix locaux), nous retirons les foyers avec ce mode de chauffage principal (≈8% des foyers).

¹³ Historiquement à 2,58, le coefficient d'énergie primaire de l'électricité est passé à 2,3 à l'occasion de la réglementation thermique RE2020.

¹⁴ Opération réalisée par des informaticiens de Crédit Mutuel Alliance Fédérale au sein des structures informatiques sécurisées du Groupe et hébergées en France. Les données Ademe ont été extraites le 20 mars 2023.

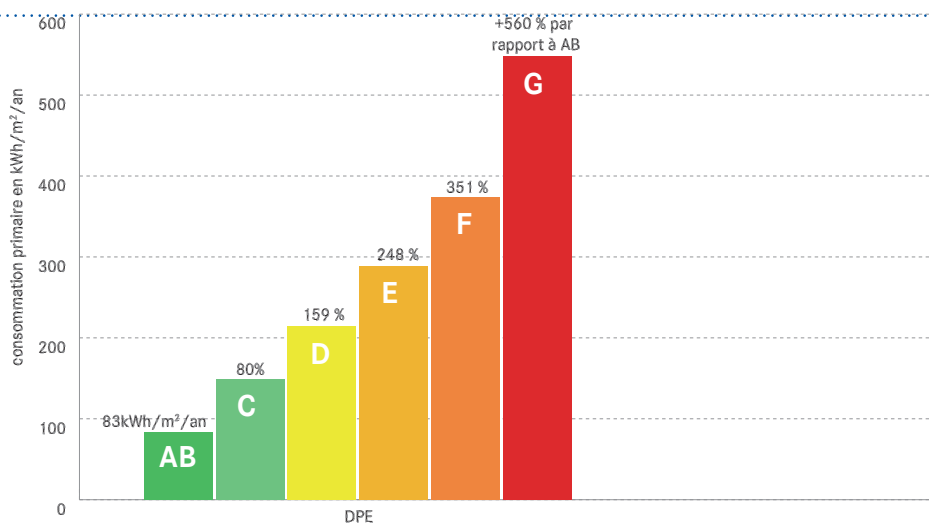
¹⁵ Adresses issues de la base Adresse nationale.

¹⁶ Une analyse de l'intégralité des DPE post juillet 2021 montre que, dans un cas sur deux, plusieurs logements à une même adresse et à une même date présentent un même DPE. L'écart type moyen étant de 0.26 écart de note.

¹⁷ Seuls les DPE 3CL de type logement et, pour les types de bâtiment (données Ademe), appartement et maison sont retenus (exclusion des DPE immeuble).

La figure 1 représente la consommation théorique à chaque étiquette dans notre échantillon. Le DPE prédit ainsi une hausse de consommation de 560 % entre les classes AB¹⁸ et G.

Figure 1. Consommation d'énergie théorique primaire prédite par le DPE par m² et par intervalle de superficie pour tous les logements



Notes : Niveaux moyens de consommation théorique primaire à chaque étiquette DPE « énergie » dans l'échantillon (178 110 observations).

Lecture : La consommation théorique primaire des logements de l'échantillon classés AB est en moyenne de 83 kWh/m²/an. Elle est en moyenne de 548 kWh/m²/an pour les logements classés G, soit 560 % plus forte par rapport aux étiquettes AB.

Source : Crédit Mutuel Alliance Fédérale, Ademe et calculs auteurs.

Méthode empirique

Modèles de régression linéaire

L'étude de la relation entre consommation et efficacité énergétiques du logement, mesurée par la classe de DPE, présente un enjeu d'identification : ces deux grandeurs sont déterminées par un ensemble de caractéristiques qui ne sont pas directement liées à la performance énergétique du logement, mais au logement lui-même – comme sa superficie – et à ses occupants. Les revenus des ménages sont ainsi un facteur essentiel influençant à la fois la classe de DPE du logement (un ménage plus aisé est davantage susceptible de financer des travaux de rénovation ou d'habiter un logement plus performant) et la consommation d'énergie (des niveaux de revenus inégaux induisant des modes de vie et de consommation différents).

Il est donc important de raisonner « toutes choses égales par ailleurs » pour isoler la relation entre DPE et consommation d'énergie de l'influence de ces facteurs. Pour ce faire, nous estimons la corrélation entre la dépense d'énergie par m² et l'étiquette DPE de performance énergétique dans une équation de régression où nous contrôlons pour un ensemble de caractéristiques pouvant affecter cette relation. Notre spécification principale (1) est donc :

$$\begin{aligned}
 & \text{consommation d'énergie par } m_{2i} \\
 \text{Régression 1 :} \quad & = \beta_0 + \sum_{n=C}^G \beta_n \mathbb{I}(\text{DPE} = n)_i + \alpha \text{ contrôles climat}_i + \gamma \text{ contrôles logement}_i \\
 & + \theta \text{ contrôles ménages}_i + c_i
 \end{aligned}$$

i désigne chaque ménage de l'échantillon et n la classe de performance énergétique. La variable que l'on cherche à prédire est soit la dépense, soit la consommation énergétique annuelle rapportée à la surface du logement. Nos principales variables explicatives sont des indicatrices pour chaque classe énergétique de C à G, la classe AB constituant la catégorie de référence¹⁹. Lorsque l'on cherche à expliquer la dépense énergétique, on retient l'étiquette DPE « globale ». Lorsque l'on cherche à expliquer la consommation énergétique, on retient l'étiquette DPE « énergie ».

¹⁸ On regroupe les classes A et B qui sont considérées comme « bâtiment basse consommation ».

¹⁹ La fonction indicatrice $\mathbb{I}(\text{DPE}=n)$ prend la valeur 1 si le DPE est égal à n et 0 sinon.

Nous introduisons ensuite trois séries de variables de contrôle relatives au climat, au logement et aux occupants. Les variables climatiques sont issues de la base de données de l'Ademe : l'une concerne la zone climatique²⁰ et l'autre l'altitude. Nous incluons également une indicatrice pour les logements en zone urbaine, déterminée à partir de l'adresse du logement, car les dépenses d'énergie y sont en moyenne plus élevées qu'en zone rurale. Nous contrôlons ensuite pour les caractéristiques propres au logement : sa superficie (variable catégorielle avec différentes tranches : moins de 30 m², entre 30 et 80 m², entre 80 et 100 m², plus de 100 m²), le type d'énergie utilisée pour le chauffage (gaz ou électricité), la situation de l'occupant (locataire ou propriétaire), le type de bâtiment (appartement dans un immeuble ou maison individuelle) et la période de construction (qui peut être corrélée de manière positive à la qualité du diagnostic du fait d'une meilleure traçabilité de la construction et des rénovations). Enfin, les variables du ménage visent à contrôler pour les caractéristiques des occupants du logement : la taille du ménage (c'est-à-dire le nombre de membres majeurs et mineurs), son niveau de revenus (variable de position dans la distribution des revenus en vingtiles), l'âge du chef de ménage²¹ (variable catégorielle comprenant quatre tranches d'âge : moins de 25 ans, de 25 à 49 ans, de 50 à 64 ans, 65 ans et plus) et, enfin, la détention par le ménage d'une résidence secondaire (variable indicatrice).

Ainsi, chaque coefficient peut être interprété comme l'effet marginal sur la dépense d'énergie de la caractéristique considérée par rapport à la catégorie de référence, toutes choses égales par ailleurs. Pour chaque variable, la catégorie de référence est constituée par la valeur modale (c'est-à-dire la plus représentée) de la variable : pour la superficie, entre 30 et 80 m² ; pour l'environnement, urbain ; pour le type d'énergie, le gaz ; pour le type de bâtiment, un appartement ; pour la situation des occupants, locataire ; pour le niveau de revenu, le niveau médian ; pour l'âge, entre 25 et 49 ans.

Comme la précision du DPE peut être sensible à la surface (les petites surfaces ayant un rapport mur/sol plus élevé sont mécaniquement défavorisées dans la modélisation de la performance énergétique), nous considérons ensuite une seconde spécification pour estimer l'hétérogénéité de la relation entre DPE et dépense énergétique en fonction de la taille de logement. Pour ce faire, on estime la corrélation entre la dépense d'énergie et classe DPE de performance énergétique couplée avec la tranche de surface, toujours avec les mêmes variables de contrôle (spécification 2) :

$$\begin{aligned} & \text{consommation d'énergie par } m_{2i} \\ \text{Régression 2 :} \quad & = \beta_0 + \sum_{n=C}^G \sum_{m=30m^2}^{>100m^2} \beta_{n,m} \mathbb{I}(\text{DPE} = n)_i \cdot \mathbb{I}(\text{surface} = m)_i + \alpha \text{contrôles climat}_i \\ & + \gamma \text{contrôles logement}_i + \theta \text{contrôles ménages}_i + \varepsilon_i \end{aligned}$$

i , m et n désignent respectivement un ménage, une tranche de surface et une classe de performance énergétique. Pour cette spécification, chaque étiquette DPE de C à G est en interaction avec une catégorie de surface, l'interaction (surface = 30 à 80 m²) et (DPE = C) étant la catégorie de référence. Chaque coefficient $\beta_{n,m}$ associé à une variable d'interaction correspond à l'effet marginal de la classe DPE considérée par rapport à la classe DPE de référence, au sein de la catégorie de surface considérée. Cette interaction permet de normaliser l'effet des classes DPE par l'effet de la taille du logement, propre à chaque catégorie de surface. Ainsi, les coefficients des classes DPE couplés avec la même catégorie de surface peuvent être comparés pour obtenir l'effet « pur » de la classe DPE, indépendamment de l'effet de la taille du logement. Cependant, les coefficients d'une même étiquette DPE couplés avec différentes catégories de surface ne sont pas comparables entre eux car ils intègrent des effets de taille différents.

Analyse par sous-échantillon

La qualité de l'appariement et le caractère récent du DPE peuvent varier selon les observations et induire ainsi une erreur de mesure ayant pour effet d'atténuer la relation entre DPE et consommation énergétique. Pour vérifier la robustesse de nos résultats à cette potentielle erreur de mesure, nous menons des tests de sensibilité en estimant la relation entre DPE et consommation énergétique sur deux sous-échantillons pour lesquels la probabilité d'une erreur de mesure varie : les logements individuels d'une part, les logements collectifs d'autre part. En effet, si l'attribution du DPE à un logement individuel via l'adresse n'est a priori pas susceptible d'erreur d'appariement, l'erreur de mesure est plus probable pour les logements collectifs. L'échantillon des logements individuels constitue donc la référence de maîtrise du risque d'appariement. Par ailleurs, nous testons aussi la sensibilité des résultats au statut de l'occupant du logement (propriétaire vs locataire)²² : nos résultats ne montrant pas de différences significatives selon le statut, nous présentons seulement les résultats pour les deux sous-échantillons de logements individuels et collectifs.

²⁰ Huit zones climatiques sont définies sur la France métropolitaine par l'Ademe.

²¹ On considère comme « chef de ménage » l'individu le plus âgé du ménage.

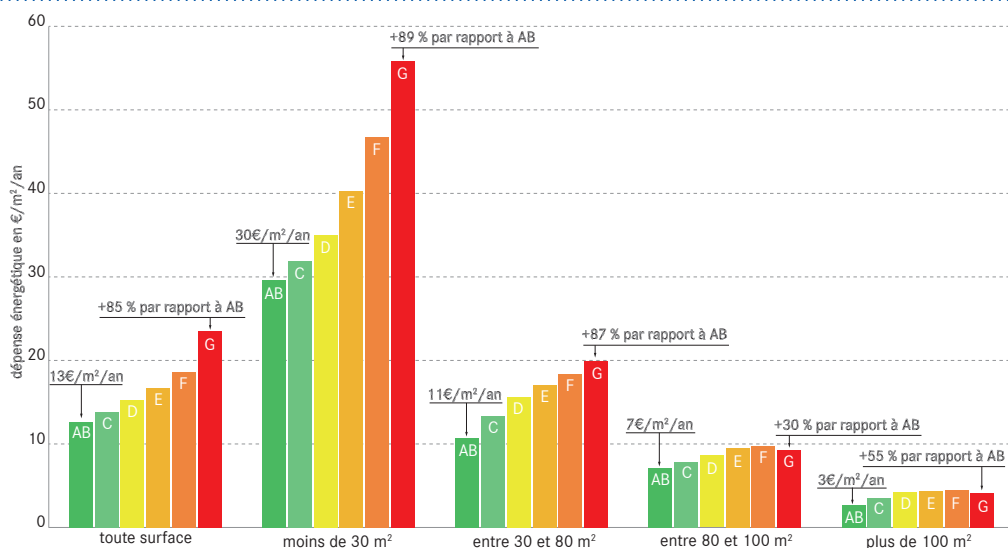
²² Le risque d'obsolescence du DPE après une rénovation est plus probable pour les propriétaires. A contrario, l'obligation faite aux bailleurs de fournir un DPE valable (durée de validité de 10 ans) à chaque nouveau contrat de location réduit le risque d'obsolescence du DPE.

Présentation des résultats

Le DPE global prédit-il correctement la dépense finale d'énergie des ménages ?

En première analyse, nous cherchons à savoir si la dépense énergétique entre la classe AB et les classes moins performantes progresse dans les mêmes proportions que celle théorique du DPE. Les résultats révèlent bien une relation croissante entre dépenses d'énergie finale et classe de DPE (Figure 2).

Figure 2. Dépense d'énergie finale par m² et par intervalle de superficie pour l'ensemble des logements à chaque classe du DPE global



Notes : Résultats de la régression de la dépense énergétique finale par m² sur la classe de DPE global (spécification 1) et sur la classe de DPE global en interaction avec la surface du logement (spécification 2), ainsi que sur un ensemble de variables de contrôles (climatiques, de logement et d'occupants) pour l'ensemble de l'échantillon (178 110 observations). La totalité des coefficients estimés sont présentés dans un tableau détaillé en annexe.

Source : Crédit Mutuel Alliance Fédérale, Ademe et calculs auteurs.

On note cependant :

- un rapport entre étiquettes AB et G divisé par six (560 % vs 85 %) par rapport à celui prédit par le modèle 3CL
- une progressivité variable en fonction de la taille du logement.

On observe sur l'échantillon total (spécification 1, « toute surface ») une dépense énergétique par m² en hausse significative pour chaque classe par rapport à la classe AB, avec une hausse maximale de 85 % pour la classe G.

On cherche ensuite à savoir si cette relation est homogène au sein de chaque tranche de superficie. Les résultats de la spécification 2 sont présentés figure 2 (moins de 30 m² à plus de 100 m²). Le profil de dépense en fonction de la classe énergétique n'est pas systématiquement progressif au sein de chaque groupe de taille de logement. On retrouve dans les logements de 30 à 80 m², qui représentent 66 % de notre échantillon, une progressivité proche de celle de l'échantillon total. Parmi les plus petites surfaces (moins de 30 m²), pour lesquels la progressivité est la plus prononcée, les dépenses des logements peu performants (classe D et plus) sont significativement plus élevées que celles des classes performantes (AB à C). Toutefois, les différences entre les classes au sein de ces deux grands groupes ne sont pas statistiquement significatives : on ne peut pas exclure que la dépense énergétique des logements en D et en F soit la même. Il en est de même pour les logements ayant une superficie supérieure à 80 m². Cela suggère une surestimation par le DPE des gains budgétaires escomptés dans les petites et grandes superficies en passant d'une classe D à C par exemple.

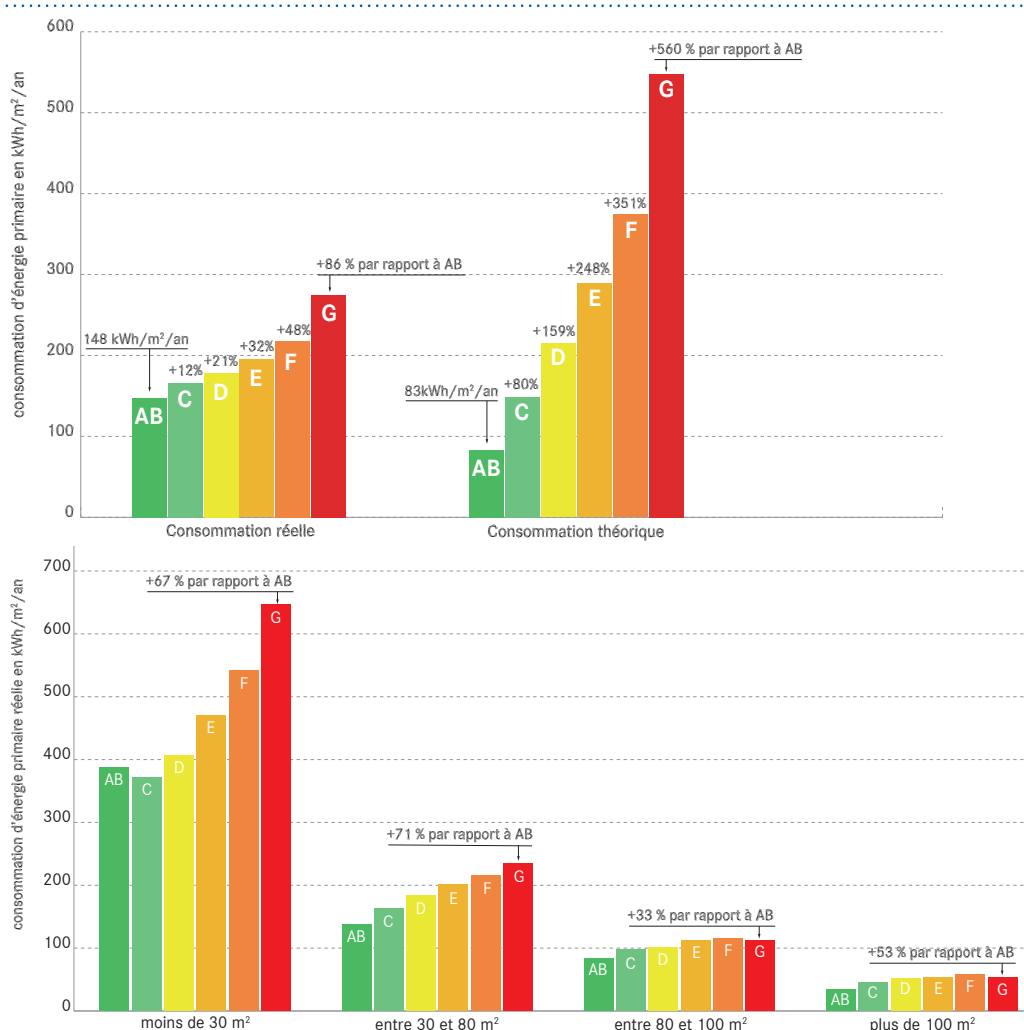
Le tableau en annexe 4 présente les coefficients pour les variables de contrôle du modèle. Il est intéressant de noter que des facteurs sociodémographiques, comme le revenu ou l'âge, expliquent autant, voire davantage les variations de dépenses énergétiques que la performance énergétique prédite par le DPE. Ainsi, la dépense énergétique varie du simple au double entre un ménage à revenu médian (10^e quintile) et un ménage du dernier quintile. Elle est 40 % plus élevée entre un ménage de moins de 25 ans (12,44 €/m²/an en AB) et un ménage de plus de 65 ans (17,35 €/m²/an en AB).

Le DPE « énergie » prédit-il correctement la consommation primaire effective des ménages ?

Plusieurs raisons permettent d'expliquer pourquoi on ne retrouve pas dans la relation entre dépense finale et étiquette DPE une progressivité aussi forte que celle affichée par le DPE. Premièrement, la fonction de dépense finale n'est pas systématiquement proportionnelle à la fonction de consommation primaire, puisque la transformation de la dépense finale en quantité primaire va dépendre du mix énergétique (électricité+gaz) utilisé par le ménage, lequel détermine le prix unitaire moyen de chaque kWh consommé ainsi que le facteur de conversion entre énergie finale et primaire. Or il est possible que ce mix énergétique varie à chaque étiquette de performance. La deuxième raison tient à la nature duale du DPE global fondé sur une étiquette correspondant à la performance énergétique du logement, le DPE « énergie » (en kWh/m²/an), et sur une étiquette correspondant à sa performance environnementale, le DPE « climat » (en kg CO₂/m²/an). L'étiquette du DPE global correspond à la moins bonne étiquette de chacune de ses composantes.

Pour mieux cerner la nature prédictive du DPE « énergie », nous nous intéressons à présent à la relation entre consommation primaire réelle des ménages et consommation primaire théorique prédite par le DPE.

Figure 3. Consommation d'énergie primaire par m² et par intervalle de superficie expliquée par le DPE « énergie »



Notes : En haut, comparaison entre les résultats de la régression de la consommation énergétique primaire par m² sur la classe de DPE « énergie » et le niveau moyen de consommation théorique pour chaque étiquette DPE. En bas, résultats de la régression de la consommation énergétique primaire par m² sur la classe de DPE « énergie » en interaction avec la surface du logement. Chaque modèle de régression inclut un ensemble de variables de contrôle (climatiques, de logement et d'occupants).

Source : Crédit Mutuel Alliance Fédérale, Ademe et calculs auteurs

La progressivité ne change pas sensiblement lorsqu'on examine cette relation (Figure 3) : elle est similaire à celle de la dépense finale, à la fois pour l'échantillon total et par catégorie de surface, avec toujours un effet estompé à mesure que les logements s'agrandissent. Pour l'échantillon « toute surface », la hausse de consommation par m² est de 86 % entre les logements les plus performants (classes A et B) et les moins performants (classe G), soit un taux près de 6 fois

plus faible que celui prédit par le DPE. On observe à nouveau que la progressivité s'atténue à mesure que la superficie du logement augmente.

L'atténuation de la progressivité réelle provient du fait que les consommations prédites du DPE sont inférieures aux consommations réelles pour les classes performantes (A à C) et supérieures dans les classes peu performantes (D à G) (voir figure 3). Si l'on considère que la mesure de la consommation réelle dans les données bancaires est juste, on peut donc affirmer que le DPE surestime la consommation des classes peu performantes (à partir de D). Ajoutons en outre que cet écart entre consommation réelle et consommation théorique, soit l'*energy performance gap*, semble très supérieur aux paramètres retenus actuellement pour en tenir compte dans les modèles de simulation utilisés pour projeter les réductions de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂ : globalement, nos données reflètent une intensité d'utilisation d'environ 1/6 contre environ 1/2 dans ces modèles (voir *supra*).

L'effet d'atténuation de la progressivité peut provenir de deux sources : l'écart entre consommation théorique et réelle ou l'erreur de mesure de la consommation théorique. On peut lire les résultats hétérogènes par catégorie de surface au prisme de ces deux mécanismes.

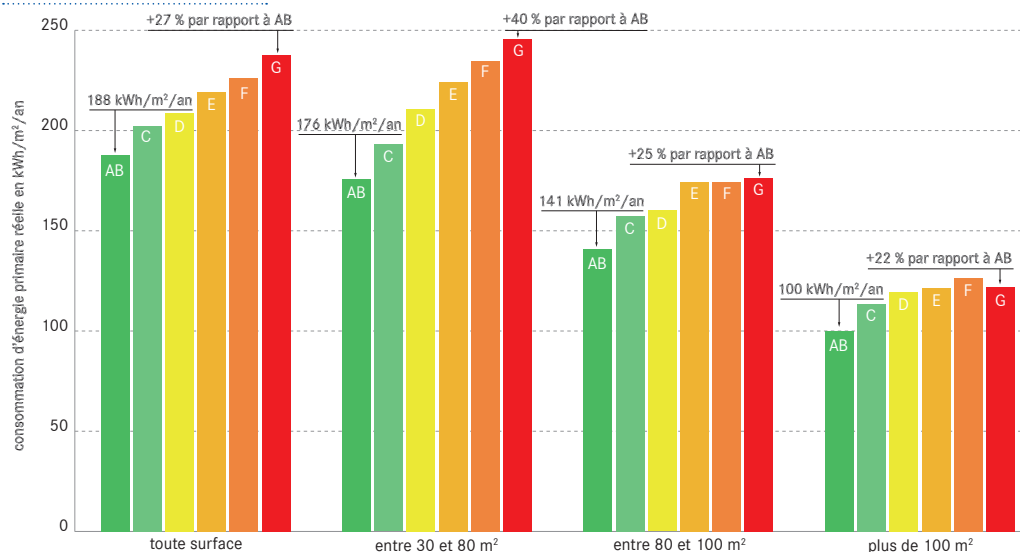
Ainsi, on peut s'attendre à un effet rebond plus important dans les logements plus grands où le prix du confort énergétique est plus important. Les grands logements ont également plus la capacité d'ajuster leur consommation, en ne chauffant que quelques pièces, etc.

On peut également penser que la prédiction de la performance énergétique s'atténue avec la superficie, en fonction de la manière dont cette dernière entre dans le calcul 3CL. Ce calcul part de l'hypothèse que la consommation énergétique est une fonction linéaire de la surface. Or une grande partie des besoins énergétiques est soit fixe (eau chaude et sanitaire) soit décroissante avec la surface (on ne chauffe pas toutes les pièces d'un grand logement, inertie thermique...). Cela est confirmé dans les données, puisqu'au sein de chaque classe d'énergie, la consommation réelle par m² décroît avec la surface (voir [annexe 1](#)). Cela explique aussi pourquoi la progressivité de la consommation est exagérée par le DPE pour les grandes surfaces : la meilleure performance énergétique n'a que peu d'effet sur la consommation réelle car la part de la consommation qui est élastique à la performance reste marginale dans la consommation totale. À ce propos, si un débat est ouvert par le secteur immobilier afin de rééquilibrer la proportion de mauvaises étiquettes au sein des petits logements, celui-ci ne porte pas à proprement parler sur la fiabilité du DPE, mais sur la question politique de la sortie disproportionnée de ces logements du marché immobilier.

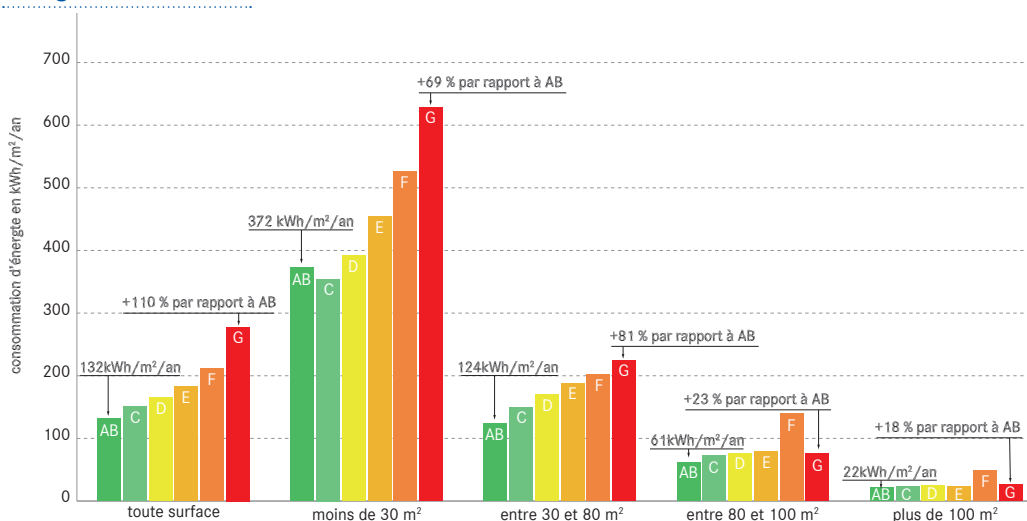
Nous menons ensuite une analyse par sous-échantillon (individuel vs collectif) pour vérifier que la possible erreur d'appariement n'atténue pas la progressivité de la consommation. En comparant les échantillons « individuel » (Figure 4a) et « collectif » (Figure 4b), on constate une progressivité plus faible dans l'échantillon minimisant le risque d'appariement (+27 % dans l'individuel vs +110 % dans le collectif entre AB et G). Cela peut refléter trois choses : les effets comportementaux sont potentiellement plus importants dans l'individuel (plus grande maîtrise des usages) ; l'erreur de modélisation est peut-être plus forte dans l'individuel du fait d'une qualité de rénovation plus hétérogène ; l'échantillon collectif augmente certes le risque d'appariement mais limite le risque d'erreur de diagnostic puisque le fait d'avoir plusieurs DPE à une même adresse et de choisir la valeur modale nous rapproche de la véritable mesure de performance énergétique.

Figure 4. Consommation d'énergie primaire par m² et par intervalle de superficie expliquée par le DPE « énergie »

a. Logements individuels



b. Logements collectifs



Notes : Résultats de la régression de la consommation énergétique primaire par m² sur la classe de DPE « énergie » (spécification 1) et sur la classe de DPE « énergie » en interaction avec la surface du logement (spécification 2), ainsi que sur un ensemble de variables de contrôles (climatiques, de logement et d'occupants) pour le sous-échantillon des logements individuels (panel a : 40 800 observations) et celui des logements collectifs (panel b : 137 310 observations). Les résultats pour les logements individuels de moins de 30 m² ne sont pas présentés faute d'un nombre suffisant d'observations.

Source : Crédit Mutuel Alliance Fédérale, Ademe et calculs auteurs

Ajustement comportemental ou biais de mesure du DPE ?

Nous cherchons ensuite à quantifier le poids respectif de l'ajustement comportemental et de l'erreur de modélisation dans le différentiel entre la consommation théorique prédite par le DPE et la consommation réelle.

L'ajustement comportemental, c'est-à-dire la manière dont l'utilisateur adapte son confort énergétique en fonction de son coût, peut s'assimiler à la relation entre la demande et le prix énergétique. Cette relation n'est pas directement observable dans les données de consommation énergétique à un temps donné puisqu'elle nécessite d'observer des variations de prix dans le temps. En revanche, la littérature empirique donne de nombreuses estimations de ce qu'on appelle l'élasticité-prix de l'énergie. [Csereklyei \(2019\)](#) estime une élasticité-prix pour le secteur résidentiel en Europe, qui s'avère assez rigide à court terme (une hausse de 1 % du prix induit une variation de la demande de -0,08 %) mais

plus souple de long terme (-0,56 %). On peut considérer que l'élasticité à considérer est celle à long terme, qui modélise mieux les changements de comportement lorsque les prix changent de manière permanente. Or la performance énergétique d'un logement détermine durablement le coût du confort énergétique : par exemple, l'isolation va permettre de limiter les déperditions d'énergie sur plusieurs années.

À partir de cette élasticité, on peut déduire la réponse comportementale à une variation de performance énergétique et donc du coût du confort énergétique. Or le coût de ce confort en lien avec la performance n'est pas aisé à quantifier en l'absence de mesure objective du confort énergétique dans des logements aux performances différentes. On peut néanmoins faire l'hypothèse que le DPE propose une borne haute du coût énergétique nécessaire à chaque classe pour un confort énergétique fixe. On a ainsi :

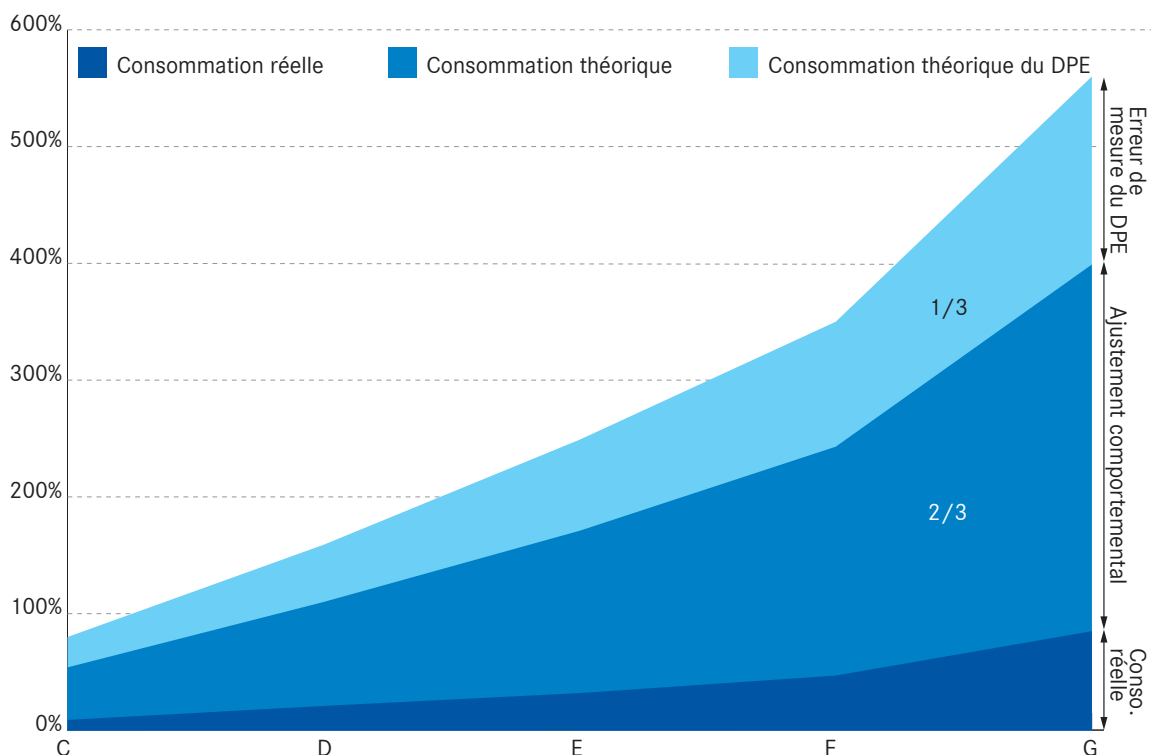
$$\partial \text{ajustement comportemental} (n) / \partial n = \partial \text{consommation} (n) / \partial p \times \partial p / \partial n$$

Avec $\partial \text{consommation} (n) / \partial p$ l'élasticité-prix de la demande énergétique et $\partial p / \partial n$ la variation du prix (p) du confort énergétique lorsque la classe de performance énergétique (n) varie. Avec la consommation réelle et l'ajustement comportemental, on peut ainsi reconstituer la consommation théorique non biaisée à chaque classe de performance puisque :

$$\partial \text{consommation réelle} (n) / \partial n = \partial \text{consommation théorique} (n) / \partial n + \partial \text{ajustement comportemental} (n) / \partial n$$

L'effet comportemental permet d'expliquer une partie de la différence entre la consommation théorique prédite par le DPE et la consommation réellement observée dans les données, mais pas la totalité. L'écart résiduel peut être attribuable à des erreurs de mesure et de modélisation, en particulier au moment du calcul du DPE. À partir des estimations de consommation réelle présentées plus haut, de l'élasticité-prix de long terme fixée par la littérature et des variations de coût de confort énergétique donné par le DPE, on estime le poids de l'ajustement comportemental et de l'erreur de modélisation pour expliquer l'écart entre consommation réelle et consommation théorique prédite par le DPE à chaque étiquette de performance. Les résultats sont résumés dans la figure 6 et détaillés dans le tableau en [annexe 5](#).

Figure 6. Variation de la consommation théorique et réelle par rapport à la classe DPE AB



Notes : Variation de la consommation réelle, théorique et prédite par le DPE, en calibrant l'effet d'ajustement sur une élasticité-prix de -0,56 et un prix du confort énergétique tel qu'indiqué par le DPE. La variation de consommation réelle est donnée par les coefficients estimés dans ce Focus. La variation de consommation théorique est calculée comme la différence entre consommation réelle et ajustement comportemental, et l'erreur de mesure comme la différence entre consommation théorique prédite par le DPE et consommation théorique. Les résultats sont présentés dans le tableau en [annexe 5](#).

Source : Crédit Mutuel Alliance Fédérale, Ademe et calculs auteurs.

L'ajustement comportemental explique une part prépondérante de l'écart soit les 2/3, le 1/3 restant étant lié à l'erreur de modélisation de la consommation théorique du DPE. On trouve ainsi une consommation théorique dont la progressivité est moins forte (hausse de consommation de 400 % entre les classes AB et G) que celle prédite par le DPE (560 %).

Malgré les différentes limites de l'étude précédemment évoquées (erreurs potentielles d'appariement, identification imparfaite de certaines dépenses énergétiques, recours à un prix d'abonnement approximatif, intégration de dépenses énergétiques non liées à la performance du logement telles l'électroménager, l'informatique...), plusieurs faits saillants ressortent nettement :

- Les usagers adaptent leur comportement en fonction du prix du confort énergétique et donc de la performance du logement, cet effet rebond explique une large partie des écarts observés.
- Les usagers adaptent également leur comportement en fonction de leurs caractéristiques sociodémographiques et notamment de leurs revenus. Ainsi la consommation des ménages dépend autant des revenus que de l'étiquette DPE.
- Le DPE tend à surestimer la performance théorique à partir de la classe D, et cela va en s'accroissant à mesure que la performance énergétique du logement se dégrade (la surestimation dépassant un facteur 2 pour les logements G). La performance théorique des logements AB est, elle, sous-estimée.
- Plus la superficie du logement est importante, plus la surestimation de la performance s'accroît et plus la progressivité prévue par le DPE disparaît. A contrario, la performance énergétique des petits logements apparaît mieux estimée par le DPE. La consommation au m² étant nettement décroissante avec la superficie, l'application d'une échelle unique à tous les logements devrait mieux prendre en compte cette caractéristique.

Ces résultats incitent à chercher des pistes d'amélioration et d'homogénéisation du DPE pour en faire un indicateur plus fiable de la qualité énergétique des logements. Ils mettent également en lumière des effets comportementaux qu'il est important de mieux étudier pour bien évaluer les économies d'énergie associés aux rénovations énergétiques. En effet, si la rénovation permet d'améliorer la qualité énergétique des bâtiments, avec des bénéfices importants en termes de confort énergétique et de santé, la réduction des émissions de gaz à effet de serre associées dépend étroitement de la façon dont les ménages ajustent leur consommation à la suite des rénovations. Mieux connaître les comportements de consommation des ménages permettra de les accompagner dans leurs efforts de sobriété énergétique, afin que la rénovation énergétique conduise également à une baisse significative des émissions.

Annexe

Annexe 1. Statistiques descriptives de la consommation du CM

Nous présentons ici la consommation primaire réelle et théorique en kWh/m²/an moyenne par étiquette DPE « énergie » pour l'échantillon total, pour les logements individuels et pour les logements collectifs.

a. Échantillon total

en kWh/m ²	Consommation primaire réelle					Consommation primaire théorique
	moins de 30 m ²	entre 30 et 80 m ²	entre 80 et 100 m ²	plus de 100 m ²	Toute surface	Toute surface
A + B	433	181	151	130	165	83
C	410	211	164	142	195	149
D	453	236	172	149	229	215
E	523	258	185	150	269	289
F	604	277	191	155	320	374
G	724	302	193	148	440	548

b. Par sous-échantillon

Individuels	moins de 30 m ²	entre 30 et 80 m ²	entre 80 et 100 m ²	plus de 100 m ²	Toutes surfaces
A + B	441	181	140	123	173
C	407	211	157	136	202
D	454	238	166	147	244
E	523	262	176	148	292
F	606	283	180	149	354
G	725	312	184	138	488

Collectifs	moins de 30 m ²	entre 30 et 80 m ²	entre 80 et 100 m ²	plus de 100 m ²	Toutes surfaces
A + B	375	185	163	132	148
C	570	200	177	145	166
D	378	218	179	150	178
E	496	232	193	151	195
F	501	245	197	156	211
G	655	258	197	150	236

Annexe 2. Dérivation de la consommation primaire

Nous dérivons ici la consommation primaire réelle à partir de la dépense finale connue du ménage, de son mix énergétique et des prix moyens du gaz et de l'électricité pour le secteur résidentiel observés sur la période 2022-2023.

Avec :

Q_p^E = consommation primaire d'électricité

Q_f^E = consommation finale électricité

Q_p^G = consommation primaire gaz

Q_f^G = consommation finale gaz

Q^P = consommation primaire totale

D^F = dépense finale totale

π_i = consommation primaire théorique de gaz / consommation primaire théorique totale

P_G = Prix gaz

P_E = Prix électricité

C^G = coefficient conversion gaz = consommation primaire gaz / consommation finale gaz = 1

C^E = coefficient conversion électricité = consommation primaire élec / consommation finale élec = 2,3

Objectif : on souhaite exprimer la consommation primaire en fonction de la dépense finale et de paramètres connus (prix, π_i et coefficients de conversion)

$$D^F = Q_f^G \cdot P_G + Q_f^E \cdot P_E$$

On remplace la consommation finale de gaz et d'électricité par conso primaire / coefficient de conversion de chaque énergie

$$D^F = Q_p^G \cdot P_G / C^G + Q_p^E \cdot P_E / C^E$$

Ensuite on exprime les quantités consommées primaires de gaz et d'électricité en part de consommation primaire totale en utilisant le coefficient π_i

$$D^F = \pi_i \cdot Q^P \cdot P_G / C^G + (1 - \pi_i) \cdot Q^P \cdot P_E / C^E = Q^P [\pi_i \cdot P_G / C^G + (1 - \pi_i) \cdot P_E / C^E]$$

$$D'où Q^P = D^F / [\pi_i \cdot P_G \cdot (C^G)^{-1} + (1 - \pi_i) \cdot P_E \cdot (C^E)^{-1}]$$

Si on prend les valeurs conventionnelles de 1 et 2, 3 pour les coefficients de conversion (à vérifier), cela donne :

$$Q^P = D^F / [\pi_i \cdot P_G + (1 - \pi_i) \cdot P_E \cdot 2,3]$$

Annexe 3. Caractéristiques des logements et des occupants par étiquette DPE

Nous présentons ici la répartition des logements selon l'étiquette DPE « énergie » suivant leurs caractéristiques. Que ce soit dans la base Ademe ou dans l'échantillon Crédit Mutuel Alliance Fédérale, seuls sont retenus ici les logements ayant une étiquette DPE récente (à partir de 2021) et un système de chauffage individuel, au gaz ou à l'électricité.

		A/B	C	D	E	F	G
	Base Ademe	9 %	25 %	30 %	21 %	9 %	6 %
	Échantillon CM	5 %	30 %	35 %	19 %	7 %	4 %
Type de logement	appartement	2 %	32 %	36 %	19 %	7 %	4 %
	maison	12 %	24 %	33 %	20 %	7 %	3 %

		A/B	C	D	E	F	G
Base Ademe		9 %	25 %	30 %	21 %	9 %	6 %
Échantillon CM		5 %	30 %	35 %	19 %	7 %	4 %
Type d'occupant	Locataire	3 %	32 %	35 %	20 %	7 %	4 %
	dont maison	35 %	12 %	16 %	19 %	18 %	13 %
	dont appartement	65 %	88 %	84 %	81 %	82 %	87 %
	Propriétaire	6 %	29 %	35 %	19 %	7 %	4 %
	dont maison	68 %	23 %	25 %	27 %	29 %	24 %
	dont appartement	32 %	77 %	75 %	73 %	71 %	76 %
Tranche de surface	moins de 30 m²	0 %	6 %	28 %	30 %	17 %	19 %
	entre 30 et 60 m²	2 %	28 %	36 %	21 %	8 %	4 %
	entre 60 et 100 m²	5 %	36 %	36 %	16 %	5 %	2 %
	plus de 100 m²	13 %	30 %	34 %	16 %	4 %	2 %
Année de construction	Avant 1948	1 %	12 %	32 %	30 %	14 %	11 %
	De 1948 à 1974	1 %	14 %	38 %	30 %	12 %	5 %
	De 1975 à 1988	1 %	22 %	46 %	25 %	5 %	1 %
	De 1989 à 2000	1 %	39 %	45 %	13 %	1 %	0 %
	De 2001 à 2005	2 %	55 %	37 %	5 %	0 %	0 %
	De 2006 à 2012	4 %	57 %	35 %	3 %	0 %	0 %
	De 2013 à 2021	30 %	64 %	5 %	1 %	0 %	0 %
	Après 2021	69 %	30 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Type d'énergie de chauffage	Non renseigné	2 %	27 %	36 %	21 %	8 %	5 %
	électricité	7 %	24 %	35 %	21 %	8 %	6 %
Type d'habitat	gaz	2 %	39 %	35 %	17 %	5 %	2 %
	urbain	4 %	31 %	35 %	19 %	7 %	4 %
Quintile de revenus	rural	11 %	22 %	32 %	22 %	8 %	5 %
	1	3 %	29 %	36 %	21 %	7 %	4 %
	dont locataire	41 %	33 %	34 %	34 %	34 %	37 %
	dont propriétaire	59 %	67 %	66 %	66 %	66 %	63 %
	2	3 %	31 %	37 %	19 %	6 %	3 %
	dont locataire	50 %	45 %	47 %	46 %	47 %	44 %
	dont propriétaire	50 %	55 %	53 %	54 %	53 %	56 %
	3	4 %	32 %	35 %	19 %	7 %	4 %
	dont locataire	66 %	55 %	58 %	57 %	58 %	57 %
	dont propriétaire	34 %	45 %	42 %	43 %	42 %	43 %
	4	6 %	31 %	34 %	19 %	7 %	4 %
	dont locataire	82 %	69 %	72 %	72 %	72 %	71 %
	dont propriétaire	18 %	31 %	28 %	28 %	28 %	29 %
	5	7 %	29 %	33 %	18 %	7 %	5 %
	dont locataire	94 %	89 %	89 %	89 %	87 %	89 %
	dont propriétaire	6 %	11 %	11 %	11 %	13 %	11 %

Sources : Crédit Mutuel Alliance Fédérale, Ademe et calculs des auteurs

Annexe 4. Table de régression pour l'ensemble des logements collectifs et individuels, propriétaires et locataires

Nous estimons la corrélation entre la dépense d'énergie par m² et l'étiquette DPE de performance énergétique dans une équation de régression où nous contrôlons pour un ensemble de caractéristiques pouvant affecter cette relation. La variable que l'on cherche à prédire est ici la dépense énergétique annuelle rapportée à la surface du logement. Nos principales variables explicatives sont des indicatrices pour chaque classe énergétique de C à G, la classe AB constituant la catégorie de référence. Nous introduisons ensuite quelques séries de variables de contrôle relatives au climat, au fait d'être dans une zone urbaine ou pas, au logement et à ses caractéristiques propres : sa superficie, le type d'énergie utilisée pour le chauffage (gaz ou électricité), la situation de l'occupant (locataire ou propriétaire), le type de bâtiment (appartement ou maison individuelle) et l'année de construction. Enfin, les variables de ménage visent à contrôler pour les caractéristiques des occupants du logement : la taille du ménage, son niveau de revenus, l'âge du chef de ménage et, enfin, la détention par le ménage d'une résidence secondaire (variable indicatrice).

Chaque coefficient peut être interprété comme l'effet marginal sur la dépense d'énergie de la caractéristique considérée par rapport à la catégorie de référence, toutes choses égales par ailleurs. Pour chaque variable, la catégorie de référence est constituée par la valeur la plus représentée de la variable.

Nous considérons également une seconde spécification (spécification 2) pour estimer l'hétérogénéité de la relation entre DPE et dépense énergétique en fonction de la taille de logement. Pour ce faire, on estime la corrélation entre la dépense d'énergie et classe DPE de performance énergétique couplée avec la tranche de surface, toujours avec les mêmes variables de contrôle.

Note : *** : résultats significatifs au seuil de 1 %, ** au seuil de 5 %, * au seuil de 10 %.

		spécification 1 toute surface	spécification 2 par tranche de surface
constante		12,66***	10,66***
classe énergétique	AB	réf.	
	C	1,11***	
	D	2,65***	
	E	3,99***	
	F	5,96***	
	G	10,82***	
classe énergétique X superficie	C X moins de 30 m ²		2,29
	C X de 30 à 80 m ²		2,72***
	C X de 80 à 100 m ²		0,74***
	C X plus de 100 m ²		0,91***
	D X moins de 30 m ²		5,4**
	D X de 30 à 80 m ²		4,99***
	D X de 80 à 100 m ²		1,5***
	D X plus de 100 m ²		1,6***
	E X moins de 30 m ²		10,74***
	E X de 30 à 80 m ²		6,39***
	E X de 80 à 100 m ²		2,35***
	E X plus de 100 m ²		1,74***
	F X moins de 30 m ²		17,17***
	F X de 30 à 80 m ²		7,67***
	F X de 80 à 100 m ²		2,67***
	F X plus de 100 m ²		1,87***
	G X moins de 30 m ²		26,97***
	G X de 30 à 80 m ²		9,25***
	G X de 80 à 100 m ²		2,11***
	G X plus de 100 m ²		1,46*

		spécification 1 toute surface	spécification 2 par tranche de surface
constante		12,66***	10,66***
zone climatique	H1a	réf.	réf.
	H1b	1,15***	1,23***
	H1c	0,17*	0,21**
	H2a	-1,61**	-1,51**
	H2b	-1,1*	-1,01
	H2c	-1,23***	-1,11***
	H2d	-1,18***	-1,13***
	H3	-2,93***	-2,59***
altitude	< 400 m	réf.	réf.
	entre 400 et 800 m	-0,78***	-0,59***
	> 800 m	-0,6***	-0,4***
type d'environnement	rural	-0,35	-0,22
	urbain	réf.	réf.
énergie	gaz	réf.	réf.
	électricité	0,46**	0,42
type de bâtiment	maison	-0,86**	-0,71*
	appartement	réf.	réf.
superficie	moins de 30 m ²	24,72***	18,92***
	entre 30 et 80 m ²	réf.	réf.
	entre 80 et 100 m ²	-6,51***	-3,54***
	plus de 100 m ²	-10,92***	-8,01***
période de construction	non renseignée	réf.	réf.
	avant 1948	0,073***	0,75***
	1948-1975]	-0,29***	-0,24***
	]1975-1989]	-1,04***	-1,02***
	]1989-2000]	-0,91	-0,81
	]2000-2005]	-1,23	-1,27
	]2005-2012]	-0,92	-0,92
	]2012-2020]	-1,46***	-1,23***
	]2020-2023]	-0,31	-0,49**
situation de l'occupant	propriétaire	réf.	réf.
	locataire	-1,23***	-1,24***
âge	moins de 25 ans	-0,22***	-0,15***
	entre 25 à 49 ans	réf.	réf.
	entre 50 et 64 ans	2,2***	2,19***
	65 ans et plus	4,69***	4,69***
nombre de membres majeurs		2,15***	2,17***
nombre de membres mineurs		1,35***	1,35***

Performance énergétique du logement et consommation d'énergie

		spécification 1 toute surface	spécification 2 par tranche de surface
constante		12,66***	10,66***
vingtiles de revenus	1	-2,56***	-2,55***
	2	-2,82***	-2,81***
	3	-2,41***	-2,37***
	4	-2,37***	-2,33***
	5	-1,75***	-1,75***
	6	-1,38***	-1,39***
	7	-1,25***	-1,24***
	8	-0,89***	-0,89***
	9	-0,59***	-0,56***
	10	réf.	réf.
	11	0,45*	0,41***
	12	0,64***	0,67***
	13	1,5***	1,48***
	14	2,08***	2,09***
	15	2,7***	2,67***
	16	3,39***	3,36***
	17	4,35***	4,32***
	18	5,17***	5,07***
	19	6,97***	6,86***
	20	11,31***	11,19***
résidence secondaire		4,11***	4,07***
R²		0,31	0,32
Nombre d'observations		178 110	178 110

Sources : Crédit Mutuel Alliance Fédérale, Ademe et calculs des auteurs

Annexe 5. Estimation de l'effet d'ajustement et de l'erreur de mesure du DPE

Nous reportons ici les prédictions de variation d'ajustement comportemental et d'erreur de mesure du DPE à chaque étiquette (par rapport à l'étiquette AB) dérivés à partir d'une élasticité-prix de long terme de l'énergie connue de la littérature et des estimations de consommation réelle et théorique. La variation d'ajustement comportemental est le produit de l'élasticité-prix et de la variation de performance énergétique à chaque étiquette. La variation de consommation théorique est la consommation réelle déduite de l'ajustement comportemental. L'erreur de mesure est la différence entre notre prédiction de consommation théorique et celle du DPE.

Elasticité-prix (ξ) : -0,56	C	D	E	F	G
Δ conso réelle (β)	0,09	0,21	0,32	0,47	0,85
Δ conso théorique DPE (δ)	0,8	1,59	2,48	3,51	5,6
Δ ajustement ($\theta = \xi * \delta$)	-0,45	-0,89	-1,39	-1,96	-3,14
Δ conso théorique ($\Delta = \beta - \theta$)	0,53	1,1	1,71	2,43	3,99
Δ erreur mesure ($\varepsilon = \Delta - \delta$)	-0,26	-0,49	-0,78	-1,07	-1,61

Sources : Crédit Mutuel Alliance Fédérale, Ademe et calculs des auteurs

Bibliographie

Allibe B. (2012) : « Modélisation des consommations d'énergie du secteur résidentiel français à long terme. Amélioration du réalisme comportemental et scénarios volontaristes ».

Blaise G. et Glachant M. (2019) : « Quel est l'impact des travaux de rénovation énergétique des logements sur la consommation d'énergie », *La Revue de l'Énergie* n° 646, septembre-octobre.

Girard et Abdelouadoud (2022) : « Sur le nombre de passoires énergétiques en France », *Energies Alternatives*.

Bakaloglou et Charlier (2021) : « The role of individual preferences in explaining the energy performance gap », *Energy Economics*.

Greenstone et Allcott (2012) : « Is There an Energy Efficiency Gap? », *The Journal of Economic Perspectives*.

Csereklyei Z. (2019) : « Price and income elasticities of residential and industrial electricity demand in the European Union », *Energy Policy*.

Christensen P., Francisco P., Myers E. et Souza M. (2023) : « Decomposing the wedge between projected and realized returns in energy efficiency programs », *The Review of Economics and Statistics* n° 105 (4), p. 798-817.

Que choisir (2022) : « Du grand n'importe quoi, encore et toujours », *Que Choisir* n° 617, octobre.

France Stratégie (2022) : *Les coûts d'abattement*, Rapport, partie 5.

Giraudet L.-G., Bourgeois C., Quirion P., Glotin D. (2018) : *Évaluation prospective des politiques de réduction de la demande d'énergie pour le chauffage résidentiel*, Cired.



**conseil d'analyse
économique**

Le Conseil d'analyse économique, créé auprès du Premier ministre, a pour mission d'éclairer, par la confrontation des points de vue et des analyses de ses membres, les choix du gouvernement en matière économique.

Président délégué Camille Landais

Secrétaire générale Hélène Paris

Conseillers scientifiques

Jean Beuve, Claudine Desrieux,
Maxime Fajeau, Thomas Renault

Économistes/Chargés d'études

Circé Maillet, Max Molaro,
Madeleine Péron, Ariane Salem

Membres Emmanuelle Auriol, Antoine Bozio,
Sylvain Chassang, Anne Epaulard, Gabrielle Fack,
François Fontaine, Maria Guadalupe, Fanny Henriot,
Xavier Jaravel, Sébastien Jean, Camille Landais,
Isabelle Méjean, Thomas Philippon, Xavier Ragot,
Katheline Schubert, David Sraer, Stefanie Stantcheva,
Jean Tirole; Emmanuel Moulin et Jean-Luc Tavernier
sont membres de droit

Correspondants

Dominique Bureau, Anne Perrot, Aurélien Saussay,
Ludovic Subran

Toutes les publications du Conseil d'analyse
économique sont téléchargeables sur son site :
www.cae-eco.fr

ISSN 2971-3560 (imprimé)
ISSN 2999-2524 (en ligne)

Contact Presse Hélène Spoladore

helene.spoladore@cae-eco.fr — Tél. : 01 42 75 77 47