

Effets de l'isolation thermique des logements sur la consommation réelle d'énergie résidentielle

Documents de travail

N° 2025-16 – Juillet 2025





Institut national de la statistique et des études économiques
Commissariat général au développement durable, Service des données et études statistiques

2025/16

Effets de l'isolation thermique des logements sur la consommation réelle d'énergie résidentielle*

WISSEM BABA MOUSSA[‡], ADRIEN PAURON[‡], JEAN-BERNARD
SALOMOND[∞], JULIE SIXOU[∞]

10 Juillet 2025

Département des Études Économiques – Timbre G201
88, avenue Verdier – CS 70 058 – 92 541 MONTROUGE CEDEX – France
Tél. : 33 (1) 87 69 59 54 – E-mail : d3e-dg@insee.fr – Site Web Insee : <http://www.insee.fr>

Sous-direction des statistiques de l'énergie, SDES, Tour Séquoia 1 place Carpeaux 92055 La Défense Cedex,
mail: sdse.sdes.cgdd@developpement-durable.gouv.fr, site web: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>

*Ce document de travail n'engage que ses auteurs et non les institutions auxquelles ils appartiennent.
This working paper reflects the views of its authors only and not those of the institutions to which they belong.*

*Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement Odran Bonnet, Louis-Gaëtan Giraudet, Pauline Givord, Marine Guillerm, Bérengère Mesqui, Olivier Ribon, ainsi que les participants au séminaire D2E pour leurs commentaires.

‡ SDES

∞INSEE, RPS

Effets de l'isolation thermique des logements sur la consommation réelle d'énergie résidentielle

En France, le secteur résidentiel représente un quart de la consommation finale d'énergie. La rénovation énergétique des logements constitue donc un enjeu majeur des politiques de sobriété énergétique. Pourtant, les économies d'énergie réelles permises par les travaux de rénovation énergétique restent peu documentées. Cette étude évalue l'impact des travaux d'isolation thermique réalisés dans les maisons individuelles sur la consommation réelle d'électricité et de gaz, à partir de données issues de compteurs communicants (Linky, Gazpar). En exploitant une variation temporelle de la consommation trimestrielle avant et après travaux, nous estimons une baisse moyenne de 5,4% de la consommation globale d'électricité pour les logements chauffés à l'électricité et de 8,9% pour le gaz pour les logements chauffés au gaz. Ces effets sont hétérogènes : les logements ayant une consommation énergétique élevée avant travaux présentent des économies d'énergie plus élevées, jusqu'à 16,6% pour le gaz. Toutefois, ces économies demeurent inférieures aux gains estimés par les modèles théoriques, confirmant l'existence d'un *energy performance gap*. Nos résultats soulignent l'importance de prendre en compte l'hétérogénéité des comportements et des situations pour mieux cibler les politiques publiques de rénovation.

Mots-clés : Rénovation énergétique ; consommation d'énergie résidentielle ; différence-de-différences

Codes JEL : Q48; Q40; Q41

Effects of thermal insulation on actual residential energy consumption

In France, the residential sector accounts for a quarter of final energy consumption. Energy renovation of housing is therefore a major focus of energy-saving policies. However, the actual energy savings achieved through renovation work remain poorly documented. This study evaluates the impact of thermal insulation work carried out in single-family homes on actual electricity and gas consumption, using data from smart meters (Linky, Gazpar). By analyzing quarterly consumption variations before and after the renovations, we estimate an average reduction of 5.4% in total electricity consumption for homes heated with electricity, and 8.9% for gas in homes heated with gas. These effects are heterogeneous: homes with high energy consumption before the renovations show greater savings—up to 16.6% for gas. However, these savings remain lower than those predicted by theoretical models, confirming the existence of an *energy performance gap*. Our results highlight the importance of accounting for behavioral and situational heterogeneity in order to better target public renovation policies.

Keywords: Energy renovation, Residential energy consumption, Difference-in-differences

JEL Code : Q48; Q40; Q41

1 Introduction

En France, un quart de la consommation finale d'énergie provient du secteur résidentiel. En 2021, dans le but de réduire les émissions de gaz à effet de serre, le plan France Relance prévoyait 6,7 milliards d'euros pour la rénovation et l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments. Cet axe clé de la politique de transition écologique en France, déjà soutenu par plusieurs politiques publiques (éco-PTZ, Certificats d'Économie d'Énergie), a pris de l'ampleur ces dernières années, notamment avec le lancement de MaPrimeRénov', succédant au crédit d'impôt pour la transition énergétique (CITE) depuis le 1er janvier 2020. La rénovation énergétique des logements a également un rôle à jouer dans la lutte contre la précarité énergétique des ménages, plus des trois quarts des propriétaires occupants en situation de vulnérabilité énergétique étant éligibles à MaPrimeRénov' pour une prise en charge de 60 % ou plus de leurs travaux (LENZI et al., 2025). La rénovation énergétique des logements est également un levier pour la réduction des risques sanitaires liés aux températures intérieures basses pour les ménages les plus exposés (DOMERGUE et al., 2022). La montée en puissance des politiques d'aide à la rénovation énergétique s'accompagne d'interrogations sur leur efficacité réelle et notamment sur la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre.

A ce stade, les économies réelles permises par les gestes de rénovation énergétique restent peu documentées. Pour autant, la littérature économique montre l'existence d'un *energy performance gap*, soit un écart substantiel entre les économies conventionnelles prédites par les modélisations *ex-ante* et les économies réelles mesurées *ex-post*.

Il existe plusieurs obstacles à l'atteinte des objectifs de performance énergétique promis par les travaux de rénovation. D'une part, simplement, la consommation théorique avant travaux, calculée sous plusieurs hypothèses d'usages énergétiques¹ peut être supérieure à la consommation réelle. D'autre part, les modélisations initiales peuvent se révéler trop optimistes, ou les travaux de rénovation effectivement réalisés peuvent être de moindre qualité, ce qui limite l'efficacité réelle de la rénovation par rapport aux gains espérés. En outre, les réactions comportementales des ménages habitant les logements rénovés peuvent conduire à une atténuation des économies réalisées. Par exemple, un logement plus efficace thermiquement permet d'atteindre une température intérieure plus élevée, à facture constante. Cette réaction comportementale, appelée "effet rebond", est observée dans la littérature, notamment dans le cas des travaux d'isolation au Royaume-Uni (PEÑASCO & DÍAZ ANADÓN, 2023).

Cette étude vise à étudier l'impact des gestes d'isolation aidés dans les maisons individuelles sur la consommation d'électricité ou de gaz, à l'aide de données de consommation réelles issues de compteurs communicants (Linky, Gazpar). Ces effets sont susceptibles

1. Par exemple une température de chauffage à 19°C

de varier sensiblement, selon le type et la qualité initiale du logement rénové, ou bien selon les caractéristiques socio-démographiques des ménages rénovateurs. En particulier, il s'agit d'estimer l'impact sur la consommation d'énergie des maisons occupées par leur propriétaire, ayant eu recours à au moins l'une de ces deux aides à la rénovation : les Certificats d'Économie d'Énergie (CEE) ou MaPrimeRénov' (MPR). Les CEE sont proposés par les fournisseurs d'énergie à leurs clients tandis que MPR est une aide de l'État pour les ménages. La réception d'une aide permet de repérer les logements ayant réalisé des travaux de rénovations, pour évaluer l'efficacité des gestes d'isolation à réduire la consommation réelle d'énergie. Il ne s'agit pas ici d'évaluer l'impact de ces dispositifs, notamment dans leur capacité à inciter des ménages à entamer des travaux qu'ils n'auraient pas menés en l'absence d'aides spécifiques. Cette étude ne fournit donc pas d'évaluation globale de l'efficacité de ces dispositifs, mais une estimation de l'efficacité des travaux mesurée à l'aune de la baisse de la consommation d'énergie des logements concernés.

Notre approche empirique repose sur la variation temporelle de consommation d'énergie primaire, avant et après la réalisation de travaux d'isolation de la maison. Nous estimons un modèle de différence-de-différences, où la décision de réaliser des travaux d'isolation est supposée exogène. Nous disposons d'un groupe de ménages traités (ayant réalisé un geste d'isolation aidé) et un groupe de ménages contrôles (n'ayant pas réalisé de geste de rénovation aidé). Notre modélisation prend en compte les dates de traitement hétérogènes et plusieurs variables socio-économiques de contrôle (CALLAWAY & SANT'ANNA, 2021). L'impact des gestes de rénovation sur la consommation réelle est également comparé aux gains conventionnels, tels qu'ils peuvent être estimés à partir des caractéristiques techniques des logements.

A la suite des gestes d'isolation thermique des logements, nous estimons une baisse de la consommation d'électricité de 5,4 % pour les maisons chauffées à l'électricité et de 8,9 % de la consommation de gaz pour les maisons chauffées au gaz. Cet effet est hétérogène selon le type de ménage et de logement. Ces économies d'énergie réelles représentent 36 % des gains conventionnels estimés pour l'électricité et 47 % pour le gaz. L'effet mesuré est plus élevé pour les logements ayant une consommation d'énergie élevée avant travaux : ces logements connaissent une réduction de leur consommation post-rénovation de 9,2 % pour l'électricité et 16,6 % pour le gaz.

Cette étude est innovante à plusieurs égards. Tout d'abord, nous apportons la première évaluation sur données de consommation réelles de politiques publiques d'ampleur relatives à la rénovation énergétique des logements en France. Dans le contexte français, BLAISE et GLACHANT (2019) ont étudié l'effet des travaux de rénovation énergétique sur la consommation d'énergie à partir de données d'enquête. Ils estiment qu'un investissement de 1000 euros ferait baisser la facture d'énergie de 0,69 %, soit 8 fois moins que les gains espérés par les modèles. L'estimation de l'effet réel de la rénovation est disponible pour d'autres

pays, notamment au Royaume-Uni, où PEÑASCO et DÍAZ ANADÓN (2023) examinent l’impact de mesures d’isolation des logements sur la consommation de gaz, jusqu’à 5 ans après la réalisation des travaux. Ces mesures sont suivies d’une baisse de la consommation, mais cette baisse n’est pas constante dans le temps et elle est moins importante dès 2 à 4 ans après la fin des travaux, selon le type d’isolation. Comme souligné par les autrices (PEÑASCO & ANADON, 2024), ce rebond de la consommation à moyen terme n’annule pas les effets de l’isolation sur la consommation. Nos résultats ne permettent pas de mettre en évidence de hausse de la consommation consécutive à la baisse observée après les travaux (ce qui n’exclut pas cependant l’existence d’adaptations comportementales instantanées). Aux États-Unis, FOWLIE et al. (2018) réalisent une expérience randomisée dans le Michigan. Cette étude, qui est l’une des rares à disposer des températures intérieures, ne met pas en évidence de hausse de celle-ci dans les logements rénovés. Malgré cet absence d’effet rebond, les auteurs observent un écart de l’ordre de 40 % entre les projections d’économies d’énergie et la réduction effective de la consommation. Cet écart est comparable avec celui mesuré dans l’étude de CHRISTENSEN et al. (2023), qui estiment que les économies effectivement réalisées ne représentent que la moitié des projections *ex ante*. Selon leur analyse, 40 % de cet écart est dû à une moindre qualité des travaux, 40 % à des biais dans les modèles de prédiction et en particulier une sur-estimation des gains pour l’isolation des murs, et seulement 6 % à l’effet rebond. Notre estimation de l’*energy performance gap* est proche de ces estimations, avec des économies réelles qui représentent entre 36 % et 47 % des économies conventionnelles.

Ensuite, nous contribuons à étudier l’effet des rénovations selon plusieurs critères d’hétérogénéité et notamment des caractéristiques des logements et des ménages. Identifier la variabilité des effets selon différentes dimensions est crucial pour le ciblage des politiques publiques de rénovation énergétique. Les écarts de consommation sont en grande partie expliqués par les variables socio-économiques (BELAID et al., 2020 ; CHARLIER, 2021), et par le niveau de confort du logement. La question du confort notamment est particulièrement prégnante pour les 5 millions de ménages en situation de vulnérabilité énergétique, c’est-à-dire qui consacrent une grande part de leurs revenus aux dépenses énergétiques (LENZI et al., 2025). Pour ces ménages, et plus généralement pour tous ceux qui ne parviennent pas à se chauffer correctement faute de moyens, l’enjeu de la rénovation énergétique porte davantage sur l’accès à une température de confort à un prix abordable (DOMERGUE et al., 2022). Ainsi, sur données réelles, PEÑASCO et DÍAZ ANADÓN (2023) ne détectent pas d’effet de la rénovation sur la consommation d’énergie dans les territoires les plus pauvres. Prendre en compte l’hétérogénéité des préférences et des situations, notamment liées à la température de confort², est essentiel pour comprendre les comportements de consommation (BAKALOGLOU & CHARLIER, 2019, 2021). Notre méthodologie permet de contrôler de plusieurs facteurs socio-démographiques, et notamment le niveau de vie et l’âge des

2. C’est-à-dire la température minimum perçue comme confortable par les occupants du logement.

occupants, ainsi que la surface de la maison, et le niveau de consommation initial. Nous mettons en évidence un effet beaucoup plus prononcé pour les maisons initialement plus consommatrices.

La section 2 détaille les données utilisées, et la section 3 présente les principales statistiques descriptives de notre base de travail. La section 4 présente la méthode employée, et les résultats sont détaillés en section 5. La section 6 discute ces résultats et conclut.

2 Présentation des données

2.1 Données de consommation d'électricité et de gaz

Les données de consommation utilisées dans cette étude sont issues d'un échantillon d'un million de ménages dotés d'un compteur communicant (Linky ou Gazpar) et couvrent la période du 1^{er} janvier 2018 au 31 décembre 2023^{3 4}. Les ménages sélectionnés proviennent d'un échantillon *ad hoc* représentatif d'environ 260 communes françaises, utilisées comme strate pour le tirage de l'échantillon de l'Enquête Nationale Logement (ENL) 2020. La grande majorité des données est transmise à la maille mensuelle, mais les données de consommation de gaz les plus anciennes sont pour partie semestrielles, le déploiement des compteurs communicants n'ayant pas été finalisé en 2018. Des données mensuelles sont reconstituées par modélisation à partir des données semestrielles en tenant compte du mois de consommation, du tarif appliqué et de la zone climatique. Les données de consommation de gaz comme d'électricité sont finalement agrégées au trimestre, une échelle qui permet de lisser les consommations d'énergie tout en gardant une grande granularité.

Ces données ont été enrichies par des informations sur les caractéristiques des logements (année de construction, surface, nombre de pièces, etc.), ainsi que les caractéristiques des occupants (niveau de vie, nombre d'habitants, etc.), grâce à un appariement avec les sources fiscales (MAJIC, fichier de la taxe d'habitation et Fideli). Par ailleurs, nous mobilisons les degrés jours unifiés (DJU) produits par le Service des données et études statistiques (SDES) à partir des données de Météo-France, agrégés à l'échelle trimestrielle. Ces DJU sont la mesure usuelle des besoins de chauffage, et sont calculés en sommant les écarts entre la température extérieure et une température de référence⁵. De même, les

3. Les données de consommation ont été recueillies dans le cadre de l'Arrêté du 10 février 2023 relatif à la collecte de données à des fins statistiques, conformément à l'article L. 142-1 du Code de l'énergie (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047254496>). Cet arrêté autorise la collecte de données mensuelles de consommation énergétique issues des compteurs communicants (Linky pour l'électricité, Gazpar pour le gaz), dont la liste détaillée figure en annexe de l'arrêté.

4. Les données de consommation de gaz ne sont complètes qu'à partir de mars 2018. Les modèles portant sur la consommation de gaz commencent à partir du troisième trimestre de 2018.

5. Plus précisément, pour un trimestre T , $DJU_T = \sum_{j \in T} \max(\text{temp}_{\text{reference}} - \text{temp}_j, 0)$ où temp_j est la température du jour j et la température de référence $\text{temp}_{\text{reference}}$ est fixée à 15°C. Ce seuil de 15°C

prix semestriels de l'électricité et du gaz pour les ménages français, calculés en fonction du profil de consommation, ont été ajoutés à partir des données du SDES.

2.2 Données d'aide à la rénovation

Afin d'identifier les ménages ayant entrepris des travaux de rénovation énergétique aidés sur la période étudiée, nous apparions des données relatives aux aides à la rénovation avec les données de consommation énergétique. Ces données d'aides couvrent les principales aides à la rénovation énergétique : les aides gérées par l'Agence nationale de l'habitat (Anah) (Habiter Mieux, MaPrimeRénov'), les certificats d'économie d'énergie (CEE) et le crédit d'impôt pour la transition énergétique (CITE) jusqu'en 2021. Sur la période étudiée, les deux dispositifs prédominants sont les certificats d'économies d'énergie CEE et MaPrimeRénov' :

Le CEE (Certificat d'économie d'énergie) Créé en 2006, le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE) repose sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée par les pouvoirs publics aux fournisseurs d'énergie. Ceux-ci doivent promouvoir auprès des consommateurs (ménages, collectivités territoriales ou professionnels) des actions permettant d'améliorer la performance énergétique du logement tout en respectant des exigences de performances minimales. Les ménages peuvent ainsi recevoir des primes CEE pouvant aller jusqu'à plusieurs milliers d'euros, un montant variable selon les opérateurs et souvent majoré pour les ménages modestes. Il s'agit de la principale aide à la rénovation énergétique : en 2021, 87 % des logements aidés en avaient bénéficié (KRASZEWSKI & PAURON, 2024). L'aide CEE est déterminée au niveau du fournisseur d'énergie qui la propose. Les données disponibles ne contiennent ni montant de l'aide perçue ni le coût des travaux réalisés par les bénéficiaires individuels.

MaPrimeRénov' Depuis le 1er janvier 2020, MaPrimeRénov' (MPR) succède partiellement au CITE (totalement en 2021), ainsi qu'à l'aide de l'Anah « Habiter mieux Agilité ». Gérée par l'Anah, MaPrimeRénov' permet de financer les travaux d'isolation, de chauffage, de ventilation ou d'audit énergétique d'une maison individuelle ou d'un appartement en habitat collectif pour les parties privatives. Le dispositif s'adressait dans un premier temps aux propriétaires occupants aux revenus modestes, pour leur résidence principale, construite depuis plus de deux ans. Depuis le 1er octobre 2020, le dispositif est accessible à l'ensemble des propriétaires, quels que soient leurs revenus, qu'ils occupent leur logement ou qu'ils le mettent en location. Sur la période étudiée, les propriétaires bailleurs étaient éligibles s'ils s'engageaient à louer le logement pour 5 ans minimum. Le montant de la prime dépend de la nature du chantier engagé, du niveau de revenus du foyer et de la localisation du logement (un barème spécifique pour les ressources des ménages est appliqué

est le plus pertinent dans le cas de la France d'après BRUGUET et al. (2024).

en Île-de-France). Il est possible d’obtenir plusieurs primes MaPrimeRénov’ pour un même logement mais pour des travaux différents dans la limite de 20 000€ par logement sur cinq ans. Pour les mêmes travaux, MaPrimeRénov’ est cumulable notamment avec les CEE, les aides d’Action logement et les aides des collectivités locales. Elle n’est pas cumulable avec les autres aides de l’Anah, ni avec le CITE (encore présent en 2020).

Notre démarche d’appariement permet ainsi de constituer un sous-échantillon de logements ayant bénéficié de MaPrimeRénov’ (MPR) ou de Certificats d’Économies d’Énergie (CEE) entre début 2018 et fin 2022, que nous considérons comme notre groupe de traitement. Nous excluons les ménages ayant reçu une aide CITE car celle-ci est une déduction fiscale, donc il est difficile de dater précisément le trimestre de la rénovation dans l’année fiscale concernée⁶. Nous considérons que les ménages pour lesquels aucun dossier d’aide n’a été apparié n’ont pas réalisé de travaux de rénovation aidée et constituent notre groupe de contrôle. En 2019, selon le rapport de l’Observatoire National de la Rénovation Énergétique (CAUMONT et al., 2022), 71 % des travaux de rénovation bénéficiaient d’une aide publique. Il est important de souligner que les données ne permettent pas d’identifier les ménages ayant effectué des travaux de rénovation sans recourir aux aides publiques. Il est donc possible que le groupe de contrôle considéré contienne des ménages ayant réalisé des travaux de rénovation non aidés, ce qui signifie que les résultats constituent un minorant des effets de la rénovation. Néanmoins, des analyses de robustesse présentées en Annexe B.1, qui utilisent comme groupe de contrôle les ménages n’ayant pas encore effectué de travaux (mais qui en font plus tard) fournissent des résultats très proches de nos estimations principales, ce qui suggère que ce biais est a priori négligeable.

Estimation des gains énergétiques conventionnels Les gains énergétiques dits «conventionnels» sont estimés à partir d’informations relatives aux caractéristiques des logements et à la nature des gestes de rénovation entrepris. Pour chaque type de geste, un coefficient de conversion moyen est appliqué afin d’associer une valeur moyenne des économies d’énergie attendues, exprimée en MWh par an et par mètre carré de surface du logement. Un coefficient est disponible pour chaque croisement entre la période de construction du logement et la zone climatique. Ces coefficients, fournis par le Service des Données et Études Statistiques (SDES)⁷, ont été construits à partir de simulations des performances énergétiques des logements avant et après travaux, réalisées selon la méthode de calcul du diagnostic de performance énergétique (DPE) en vigueur depuis 2021. Les simulations s’appuient sur les données contextuelles issues de l’enquête TREMI 2020, qui fournit une description détaillée des types de logements et des gestes réalisés. Les coefficients considé-

6. Nous pouvons néanmoins repérer les ménages ayant bénéficié d’un CITE afin de les exclure du groupe de contrôle.

7. Voir la note méthodologique accompagnant KRASZEWSKI et PAURON (2024) pour les détails de la construction de ces coefficients : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2024-10/methodo_aides_reno_2016_2021.pdf

rés sont agrégés au niveau utilisé dans la suite de l'étude à savoir isolation des combles, toitures ou planchers, isolation des murs et isolation des parois vitrées⁸. Pour chaque logement rénové, nous calculons les gains conventionnels ce qui nous permet de prendre en compte la structure spécifique de notre base de travail. En effet, celle-ci n'est pas forcément représentative du parc de logements français dans son ensemble, en termes de date de construction ou de surface par exemple, et le gain conventionnel peut différer des chiffres estimés avec des données d'enquêtes représentatives. Sur notre échantillon et sur la base des gestes déclarés, les gains conventionnels moyens sont de 1,9 MWh PCI⁹ de gaz, et 1,4 MWh d'électricité par an et par logement sur la base des gestes déclarés.

2.3 Restriction aux gestes d'isolation

L'évaluation de l'impact des aides à la rénovation énergétique sur la consommation des ménages se heurte à plusieurs défis méthodologiques. Les effets cumulatifs de rénovations successives restent mal appréhendés, complexifiant l'analyse. Par exemple, l'isolation seule peut réduire les besoins de chauffage, mais son impact sera différent si elle est combinée avec le remplacement d'une chaudière énergivore par une pompe à chaleur. De même, les effets combinés de plusieurs gestes d'isolation réalisés successivement restent difficiles à évaluer.

Un autre obstacle réside dans l'électrification de certains postes de consommation. L'installation d'une pompe à chaleur, en remplacement d'un chauffage au gaz par exemple, substitue la consommation de gaz par de l'électricité¹⁰, rendant difficile la comparaison des consommations avant et après rénovation. Ceci est dû à la différence essentielle entre le service rendu par une même quantité de gaz ou d'électricité, ainsi qu'à leurs coûts distincts. Le gaz naturel est souvent directement utilisé pour produire de la chaleur, tandis que l'électricité alimente divers équipements, y compris le chauffage, mais également l'éclairage et les appareils électroniques. De plus, les coûts associés au gaz et à l'électricité peuvent varier significativement selon les régulations locales et le marché, ce qui influence le coût total de l'énergie consommée.

Par ailleurs, les données de consommation de fioul domestique et de bois de chauffage sont indisponibles, rendant impossible la comparaison des consommations avant et

8. A défaut d'informations plus précises sur l'ampleur exacte des travaux réalisés (par exemple le nombre de murs isolés), ces coefficients sont appliqués sur l'ensemble du logement.

9. La mesure en Pouvoir Calorifique Inférieure (PCI) prend en compte la perte de chaleur latente due à la combustion.

10. En exploitant des données privées américaines de consommation réelle, BERNARD et al. (2024) montrent que l'installation d'une pompe à chaleur conduit à une réduction de l'utilisation de gaz domestique de 90 % tout en augmentant l'utilisation d'électricité de 61 %. Pour disposer d'une vision globale de l'impact des travaux, malgré le changement d'énergie de chauffage, les auteurs calculent les réductions de GES induites, estimées ici à -40 %.

après la rénovation pour ces types de chauffage. Enfin, pour les ménages ayant résilié leur contrat de gaz avant le printemps 2023, les données de consommation de gaz n’ont pas été transmises.

Face à ces limitations, notre étude se concentre sur un échantillon spécifique de rénovateurs, ayant réalisé une seule salve de travaux d’isolation. Cette approche permet de contrôler l’hétérogénéité des gestes de rénovation et d’isoler l’impact des travaux d’isolation. Si cette salve peut inclure plusieurs gestes d’isolation, elle exclut les changements de systèmes de chauffage ou d’autres gestes de rénovation pouvant entraîner des dynamiques d’électrification. Les travaux d’isolation, assortis ou non d’autres gestes de rénovation, comme des changements de chauffage, représentent un pan important de la rénovation aidée et représentaient en 2021 52 % des travaux réalisés et 32 % des gains énergétiques conventionnels (KRASZEWSKI & PAURON, 2024).

Le champ de l’étude est restreint aux seuls propriétaires occupants de maisons individuelles, afin de limiter les difficultés d’appariement entre les données fiscales — qui, au moment du lancement de l’étude, ne permettaient d’identifier de manière fiable que les propriétaires — et les données de consommation, qui concernent les occupants des logements. Après exclusion des ménages s’étant opposés à l’utilisation de leurs données ainsi que de ceux dont l’abonnement au gaz a été résilié avant le printemps 2023, l’échantillon final comprend environ 80 000 ménages. Les détails des restrictions de l’échantillon sont donnés en annexe D.

2.4 Prédiction du type de chauffage

Les consommations d’électricité et de gaz sont fortement corrélées au mode de chauffage principal. Afin de comparer les consommations des groupes de logements ayant bénéficié d’aides à la rénovation (groupe traité) et de ceux n’en ayant pas bénéficié (groupe de contrôle), il est nécessaire de réaliser des analyses distinctes en fonction du type d’énergie du chauffage principal. Cependant, les données sur l’énergie principale de chauffage ne sont pas disponibles pour les logements n’ayant pas entrepris de travaux de rénovation, ni pour ceux ayant bénéficié de CEE.

Pour pallier ce manque d’information, nous développons un modèle prédictif du type de chauffage, avec un algorithme de forêt aléatoire. Ce modèle est entraîné à partir des données de consommation des logements ayant bénéficié de MPR et de ceux inclus dans notre échantillon ayant participé à l’Enquête Nationale Logement de 2020, c’est-à-dire les ménages pour lesquels nous disposons de l’énergie de chauffage. Le modèle permet d’attribuer à chaque logement de notre échantillon un type d’énergie de chauffage principal probable, parmi les options suivantes : électricité, gaz ou autres (incluant le fioul, le bois et les réseaux de chaleur).

La performance du modèle prédictif est évaluée sur un ensemble de données indépendantes de l'échantillon d'entraînement. La prédiction que le logement est chauffé au gaz ou à l'électricité est exacte dans plus de 90 % des cas (voir tableau 1).

Chauffage	Prédiction			Total
	Gaz	Elec.	Autre	
Gaz	93.2	4.7	24.7	42.1
Elec	5.6	90.4	35.5	43.6
Autre	1.2	4.9	39.8	14.3
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

TABLE 1 – **Evaluation du prédicteur de type de chauffage sur des données en dehors de l'échantillon d'apprentissage**

Note : Pour les logements associés à une énergie de chauffage gaz par le prédicteur, 93,2 % sont effectivement chauffés au gaz.

Sources : Données consommation Gazpar et Linky, Fideli 2018 à 2022, ENL 2020.

3 Description des ménages rénovateurs et non rénovateurs

Le tableau 2 présente les statistiques descriptives des variables dépendantes et de contrôle utilisées dans cette analyse pour le groupe de traitement, constitué de ménages ayant conduit des travaux d'isolation aidés par MPR et/ou les CEE sur la période d'étude, et le groupe de contrôle, constitué de ménages n'ayant pas réalisé de rénovation aidée sur la période.

Les données révèlent une consommation énergétique annuelle moyenne plus faible sur toute la période au sein des groupes traités, tant pour les ménages dont le mode de chauffage principal est l'électricité que pour ceux chauffés au gaz. Pour les ménages chauffés à l'électricité, la consommation moyenne annuelle s'élève à 9 522 kWh dans le groupe de traitement, contre 10 347 kWh dans le groupe de contrôle, soit un écart d'environ 8 %. L'écart est encore plus marqué pour les ménages chauffés au gaz, avec une consommation moyenne de 15 840 kWh dans le groupe de contrôle et de 13 302 kWh dans le groupe traité, ce qui représente un écart d'environ 16 %. Ces écarts s'expliquent en partie par les différences de composition entre les ménages bénéficiaires et non bénéficiaires d'une aide, qui ont différents comportements de consommation, et occupent des types de logement différents. Ils sont par ailleurs calculés sur toute la période d'étude, soit entre 2018 et 2023, et incluent donc l'effet de l'isolation pour les ménages en ayant réalisé une sur cette période. L'utilisation d'une méthode d'estimation par double différences permettra de prendre en compte l'écart systématique et d'isoler l'effet de l'isolation.

Variables	Panel A : Ménages chauffés à l'électricité			Panel B : Ménages chauffés au gaz		
	Bénéficiaires d'une aide (1)	Non bénéficiaires (2)	Différence (3)	Bénéficiaires d'une aide (4)	Non bénéficiaires (5)	Différence (6)
Consommation annuelle d'électricité (kWh/an)	9 522 (3 156)	10 347 (3 417)	-825***			
Consommation annuelle d'électricité (kWh/an/m ²)	94 (37.6)	101 (43)	-7***			
Consommation annuelle de gaz (kWh PCS/an)				13 302 (6 081)	15 840 (6 922)	-2 538***
Consommation annuelle de gaz (kWh PCS/an/m ²)				136 (70)	160 (83)	-24***
Surface (m ²)	106 (32.2)	112 (42.1)	-6***	104 (33.4)	108 (41)	-4***
Période de construction :						
Avant 1948	12.3	20.3		24.2	36.8	
1949-1974	14.2	12.4		31.4	28.7	
1975-1981	16.4	13.9		12.0	8.9	
1982-1989	21.0	17.3		10.6	7.6	
1990-2000	13.4	11.3		12.7	8.4	
2001-2011	18.7	16.4		8.0	6.4	
Après 2012	3.9	8.3		1.0	3.0	
Non connu	0.1	0.2		0.1	0.1	
Nombre de niveaux :						
Maison plain-pied	56.7	43.0		37.5	29.1	
Un étage	41.5	53.1		58.2	63	
Deux étages ou plus	1.8	3.8		4.3	8	
Âge de la personne de référence :						
Moins de 40 ans	11.7	9.9		8.6	5.5	
41-55 ans	31.2	29.6		27	25.4	
56-65 ans	21.4	20.0		22.8	19.0	
66-75 ans	22.0	20.9		23.3	21.6	
76 ans et plus	13.4	18.9		17.6	24.4	
Non connu	0.3	0.7		0.6	0.6	
Age moyen	59 (15)	61 (15)	-2***	61 (15)	64 (15)	-3***
Niveau de vie du ménage (quintiles ERFS) :						
1er quintile	14.8	11.5		13.7	9.8	
2e quintile	26.8	20.0		25	17.4	
3e quintile	25.6	22.7		24.3	20.8	
4e quintile	20.1	22.7		20.4	23.4	
5e quintile	12.7	23.1		16.6	28.6	
Niveau de vie moyen	25 479 (11 419)	29 843 (16 039)	-4 364***	26 691	31 969	-5 403***
Nombre d'unités de consommation	1.8 (1.8)	1.7 (1.7)	0.1***	1.8 (1.8)	1.7 (1.7)	0.1***
Aides à la rénovation reçues :						
CEE	89.3			82.2		
MPR	5.2			8.3		
MPR & CEE	5.5			9.5		
Types d'isolation :						
Isolation des combles, toitures, planchers	82.5			71.6		
Isolation des murs	9.7			16.9		
Isolation fenêtre ; porte-fenêtre	6.1			10.5		
Multi-gestes	1.7			0.9		
Nb. Observations	5 790	30 692		5 871	36 846	

TABLE 2 – Statistiques descriptives des ménages bénéficiaires d'une aide à l'isolation et non bénéficiaires selon le type d'énergie de chauffage

Note : Ecarts-types entre parenthèses pour les variables continues. La moyenne des consommations pour les logements chauffés au gaz est calculée en excluant l'année 2018

Les logements rénovés sont en moyenne plus petits que ceux des groupes de contrôle. Par exemple, dans le cas du chauffage électrique, la surface moyenne des logements rénovés est de 106 m², contre 112 m² pour les logements non rénovés. Des écarts similaires apparaissent dans le groupe chauffé au gaz, avec une surface moyenne de 104 m² pour les logements rénovés, contre 108 m² pour le groupe de contrôle. Par ailleurs, les logements rénovés sont plus fréquemment des maisons d'un seul étage au maximum, notamment parmi les ménages chauffés au gaz : 96 % des logements rénovés appartiennent à cette catégorie, contre 92 % dans le groupe de contrôle. Les écarts de consommation entre ménages bénéficiaires d'une aide et les non bénéficiaires persistent lorsque la consommation est rapportée à la surface habitable : la consommation énergétique par mètre carré est inférieure de 7 % pour les maisons du groupe de traitement chauffées à l'électricité et de 15,6 % pour celles chauffées au gaz, comparativement au groupe de contrôle.

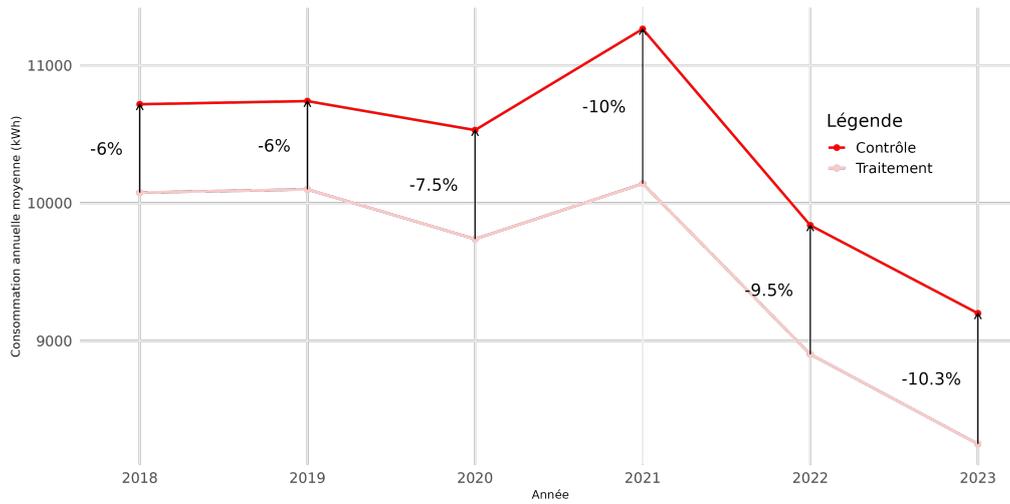
Les propriétaires des maisons rénovées sont en moyenne plus jeunes que ceux des groupes de contrôle. Par exemple, dans le panel des ménages chauffés à l'électricité, la personne de référence a en moyenne 59 ans dans le groupe de maisons rénovées contre 61 ans dans le groupe de contrôle. Les ménages rénovateurs ont également un niveau de vie plus modeste. Le revenu moyen par unité de consommation est inférieur dans les groupes traités, tant pour le chauffage électrique (25 479 € contre 29 483 €) que pour le chauffage au gaz (26 691 € contre 31 969 €). Cette observation est cohérente avec les critères d'éligibilité des dispositifs d'aide comme MPR, souvent orientés vers les ménages modestes.

Enfin, dans notre échantillon, les Certificats d'Économies d'Énergie (CEE) constituent le principal levier de soutien aux travaux d'isolation. Ils ont été mobilisés par plus de 80 % des ménages traités dans les deux panels, un chiffre proche de la moyenne nationale (en 2021, 87 % des logements ayant bénéficié d'une aide à la rénovation ont reçu un CEE, KRASZEWSKI et PAURON, 2024). Les aides issues du dispositif MaPrimeRénov' (MPR), ainsi que le cumul MPR & CEE, sont plus rares. Ces dispositifs sont légèrement plus présents dans le groupe des ménages chauffés au gaz. La prédominance des Certificats d'Économies d'Énergie (CEE) par rapport à MaPrimeRénov' (MPR) peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Le dispositif des CEE bénéficie d'une antériorité importante et couvre un large éventail de travaux de rénovation, sans condition de ressources, ce qui le rend accessible à un plus grand nombre de ménages. À l'inverse, MaPrimeRénov' est recentrée sur certains types de gestes et soumise à des conditions de revenus, ce qui en limite la portée. Ce n'est qu'à partir de 2021 que le dispositif MPR est réellement monté en puissance, à la faveur d'un élargissement des publics éligibles et d'un soutien accru dans le cadre du plan France Relance. Le nombre de ménages dans notre échantillon ayant recouru à MaPrimeRénov' est trop faible pour permettre de comparer de manière détaillée si le recours à l'un ou l'autre des types d'aide aurait un effet distinct sur la consommation (ce qui pourrait se produire si les ménages recourant aux aides sont très différents). Une analyse agrégée est

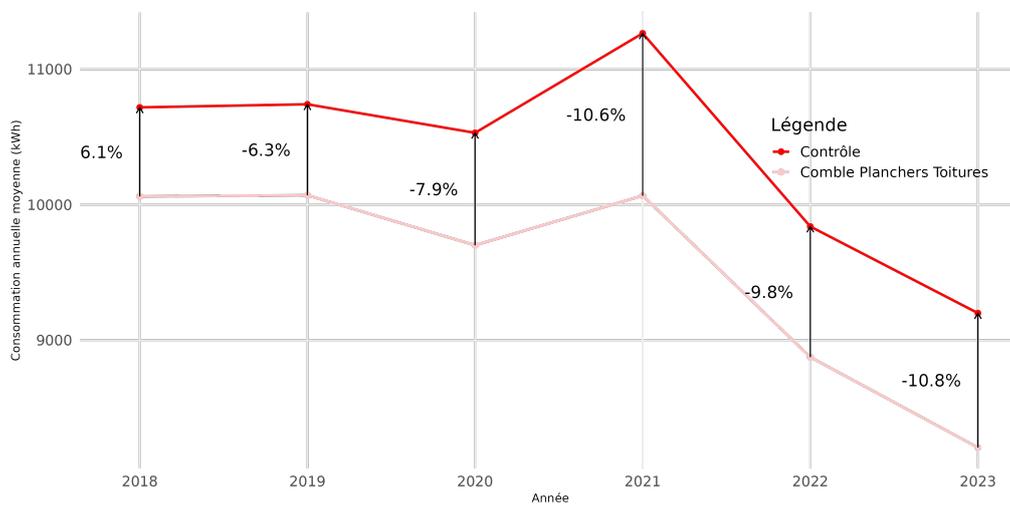
menée pour MaPrimRénov', ce qui permet notamment de comparer les économies réalisées avec le montant des travaux (disponible uniquement pour cette aide).

En termes de gestes d'isolation, l'isolation des combles, toitures, planchers est le type de geste le plus répandu dans les deux panels (82,5 % pour les ménages chauffés à l'électricité et 71,6 % pour ceux chauffés au gaz), suivi de l'isolation des murs qui est beaucoup plus répandue dans le panel des ménages chauffés au gaz (9,7 % pour les ménages chauffés à l'électricité contre 16,9 % pour les ménages chauffés au gaz). Cela peut refléter la diversité des parcours de rénovation, ou encore des temporalités différentes d'engagement dans les travaux.

Les figures 1 et 2 présentent l'évolution comparée de la consommation annuelle d'énergie des groupes traités et contrôle, respectivement pour les logements chauffés à l'électricité et pour ceux chauffés au gaz. L'année 2021 marque le début d'une baisse de la consommation jusqu'en 2023, pour les groupes traités et contrôle. Cette tendance s'explique par le contexte de hausse des prix de l'énergie et par les efforts de sobriété énergétique, ainsi que, dans une moindre mesure, par des conditions météorologiques favorables. Pour certains gestes, et notamment l'isolation des murs, on observe un écart grandissant de la consommation énergétique entre les groupes traités et contrôle, cohérent avec une réduction de la consommation post-travaux dans les logements rénovés et avec une part croissante de logements effectivement rénovés parmi les logements du groupe traité entre 2018 et 2023. Ces statistiques descriptives ne tiennent pas compte des différences de caractéristiques entre groupes traités et contrôle. L'effet causal de la rénovation sera modélisé formellement en sections 4 et 5.

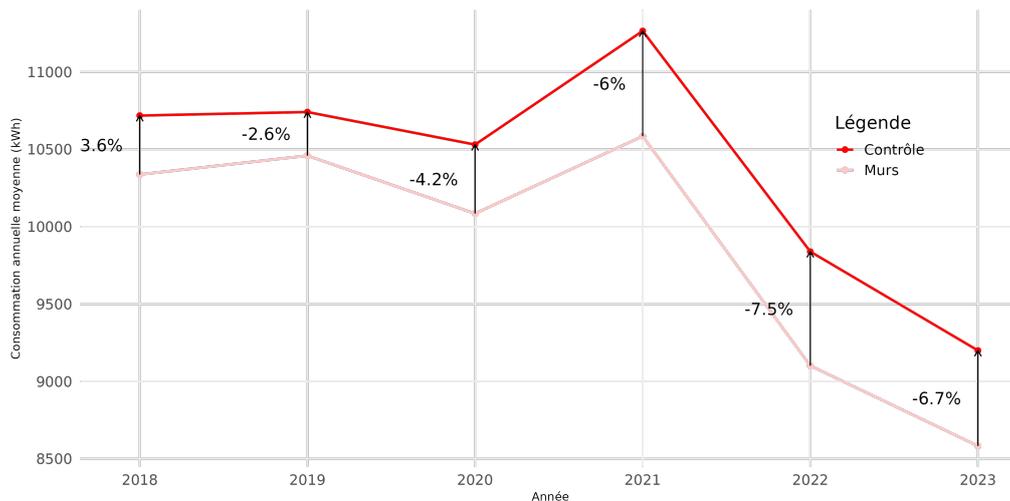


(a) Tous gestes d'isolation

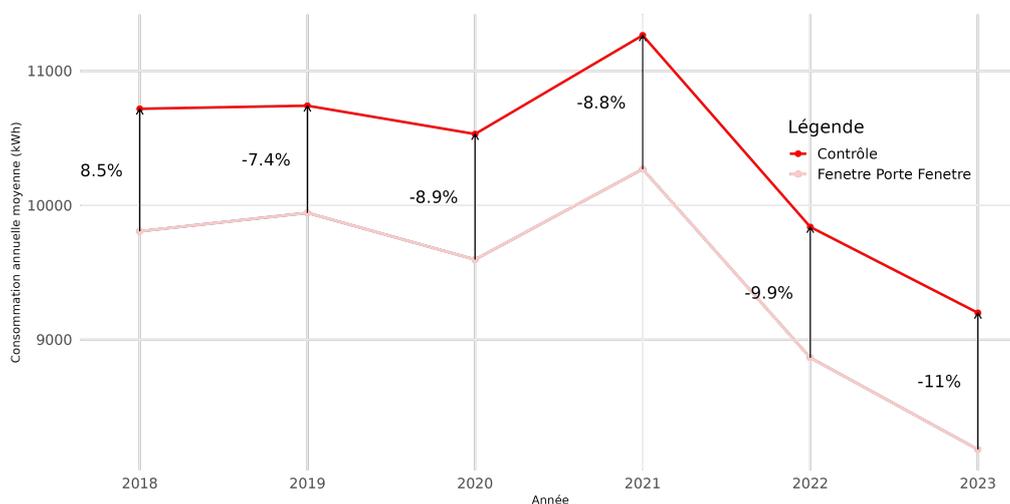


(b) Isolation des combles, planchers, toitures

FIGURE 1 – Évolution de la consommation annuelle d'électricité pour les maisons chauffées à l'électricité, bénéficiaires d'une aide entre 2018 et 2023 et le groupe de contrôle (1/2)



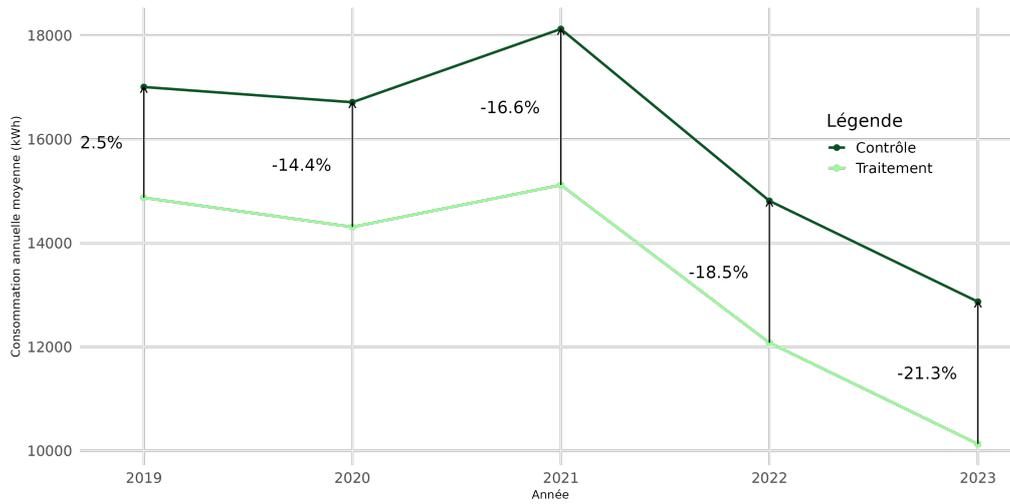
(c) Isolation des murs



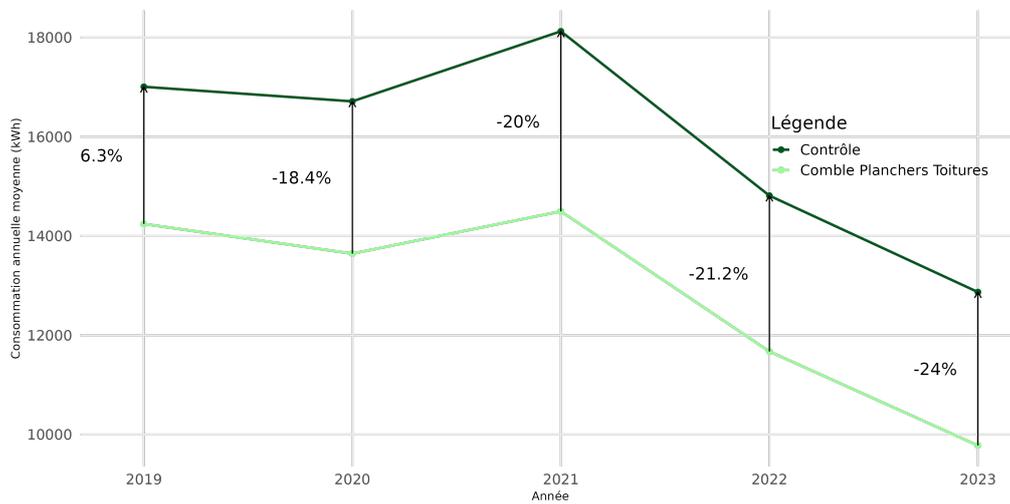
(d) Isolation des ouvertures

FIGURE 1 – Évolution de la consommation annuelle d'électricité pour les maisons chauffées à l'électricité, bénéficiaires d'une aide entre 2018 et 2023 et le groupe de contrôle (2/2)

Lecture : en 2018, les logements chauffés à l'électricité ayant été isolés (tous gestes d'isolation confondus) sur la période 2018-2023 consommaient 6 % d'électricité de moins que les logements chauffés à l'électricité non rénovés sur cette période.

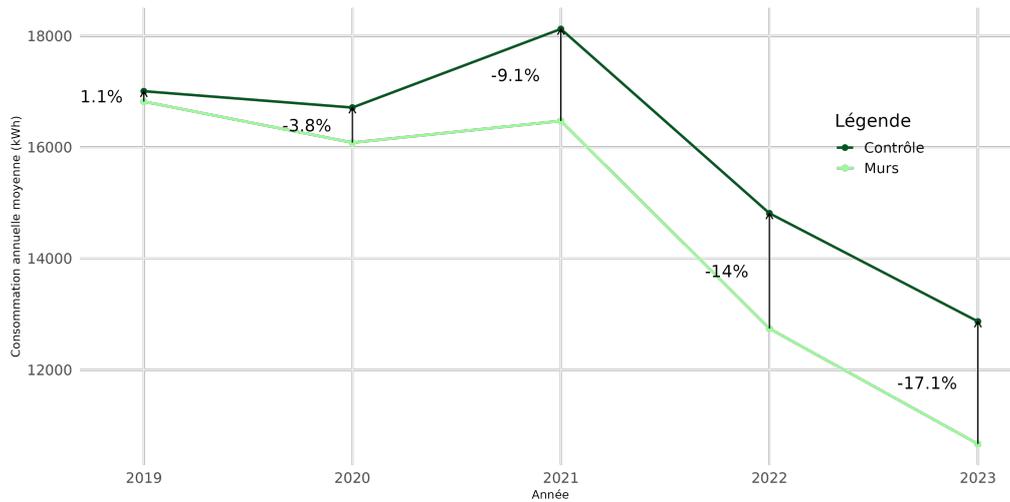


(a) Tous gestes d'isolation

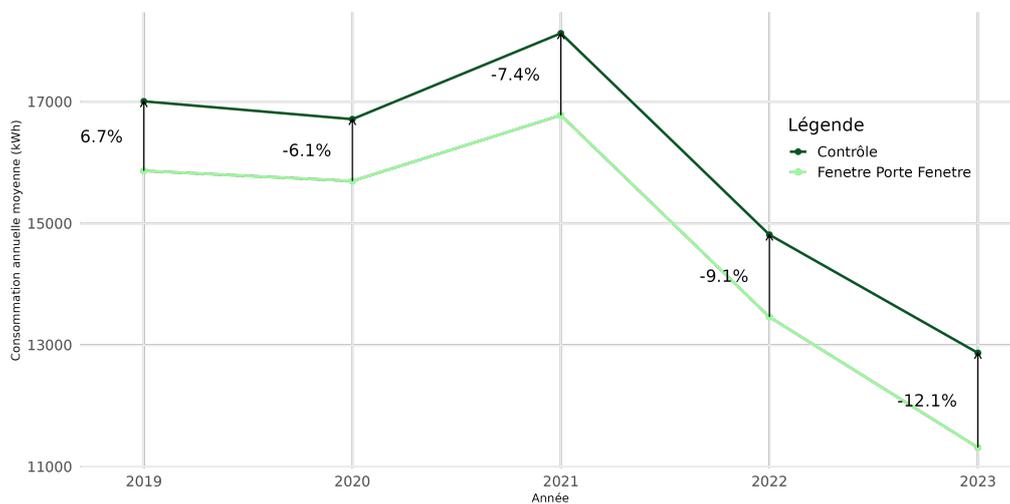


(b) Isolation des combles, planchers, toiture

FIGURE 2 – Évolution de la consommation annuelle de gaz pour les maisons chauffées au gaz, bénéficiaires d'une aide entre 2018 et 2023 et le groupe de contrôle (1/2)



(c) Isolation des murs



(d) Isolation des ouvertures

FIGURE 2 – Évolution de la consommation annuelle de gaz pour les maisons chauffées au gaz, bénéficiaires d'une aide entre 2018 et 2023 et le groupe de contrôle (2/2)

Lecture : en 2019, les logements chauffés au gaz ayant été isolés sur la période 2018-2023 (tous gestes confondus) consommaient 12,5 % d'électricité de moins que les logements chauffés au gaz et non rénovés sur cette période.

4 Spécification économétrique

Estimation de l'effet dynamique de la rénovation aidée La méthodologie d'évaluation adoptée repose sur une approche d'"étude d'événement" ("*event study*") centrée sur la date de fin des travaux de rénovation. Cela consiste à comparer, pour les ménages rénovateurs, la consommation d'énergie après la réalisation des travaux d'isolation à celle qu'ils auraient eue s'ils n'avaient pas réalisé de travaux. Cette dernière est estimée à partir des données de consommation de ménages similaires mais n'ayant pas fait de rénovation. L'estimation de l'effet dynamique du traitement sur la consommation énergétique permet de suivre l'impact des travaux de rénovation au fil du temps et d'évaluer, en particulier, la présence d'un éventuel effet rebond. Pour estimer cet effet dynamique, l'approche classique consiste à estimer un modèle à doubles effets fixes, spécifié par l'équation suivante :

$$y_{i,t} = \alpha_i + \beta_t + \sum_{h=-K}^L \beta_h \mathbb{1}[e_{i,t} = h] + \epsilon_{i,t}. \quad (1)$$

où y est la variable d'intérêt (ici la consommation d'énergie), i indice le logement et t l'unité temporelle, tandis que $e_{i,t}$ représente la distance à la fin des travaux comptée en nombre de mois ou de trimestres par rapport à la date t pour le logement i . Les paramètres α_i et β_t contrôlent des effets fixes individuels. Le paramètre d'intérêt β_h mesure ainsi l'effet moyen du traitement pour les logements rénovés à une distance h du traitement, sous l'hypothèse qu'en l'absence de travaux d'isolation aidés, les consommations d'énergie des ménages des groupes traité et de contrôle auraient évolué de manière similaire.

La littérature récente consacrée à ces modèles a mis en évidence des biais potentiels en présence de dates de traitement échelonnées. En particulier dans le modèle (1), la comparaison se fait non seulement entre les logements traités et les logements de contrôle, mais aussi entre logements traités et ceux qui le seront à une date ultérieure (GOODMAN-BACON, 2021). Cela peut introduire un biais dans l'estimation en particulier quand l'effet du traitement n'est pas fixe dans le temps. CALLAWAY et SANT'ANNA (2021) proposent une méthode tenant compte des cohortes de traitement, regroupant les logements ayant été traités au cours d'une même période. Cette approche permet de prendre en compte l'hétérogénéité des dates de traitement et d'estimer les effets moyens du traitement sur les unités traitées, ainsi que les effets moyens du traitement en fonction de la distance temporelle au traitement (estimation de la dynamique) et de la période calendaire (estimation des effets par période). D'autres approches ont également été proposées dans la littérature notamment par SUN et ABRAHAM (2021), néanmoins cette dernière ne permet pas d'inclure des variables de contrôle ce qui peut dans notre cas s'avérer nécessaire pour garantir les hypothèses indispensables à l'estimation. Ainsi, l'approche de CALLAWAY et SANT'ANNA (2021) a été préférée pour l'estimation. En suivant cette approche, nous choisissons pour le groupe de contrôle les logements qui ne reçoivent jamais le traitement.

CALLAWAY et SANT'ANNA (2021) proposent également de considérer comme groupe de contrôle uniquement les logements traités mais n'ayant pas encore réalisé les travaux. Cela permet notamment de tenir compte de différences non observées entre ménages rénovateurs et ménages non rénovateurs. Afin de s'assurer de la robustesse de nos résultats, nous présentons en annexe B.1 les résultats estimés dans ce cas. Les ordres de grandeur sont les mêmes par rapport à l'estimation sur l'ensemble des données, mais l'estimation est moins précise du fait de la réduction de la taille de l'échantillon. Nous optons donc pour un groupe de contrôle constitué des logements qui n'ont jamais été traités.

La méthode de CALLAWAY et SANT'ANNA (2021) repose sur l'estimation d'effets moyens par cohorte g et par unité de temps t . Soit $Y_{i,t}$ le logarithme de la consommation d'énergie du logement i pour la période t . L'utilisation d'une transformation logarithmique pour la variable dépendante Y présente plusieurs avantages. Premièrement, elle permet d'atténuer l'influence des valeurs extrêmes, souvent attribuables à des erreurs de mesure. Deuxièmement, elle facilite l'interprétation des paramètres estimés. En effet, l'estimateur de l'effet moyen du traitement sur les traités peut être directement interprété comme la réduction en pourcentage de la consommation initiale résultant de la réalisation des travaux d'isolation aidés. Les logements sont regroupés par cohorte de traitement selon la date de fin des travaux. On note $G_{i,g} = 1$ si le logement i appartient à la cohorte g (c'est-à-dire que la date de fin de travaux pour ce logement est g). Les logements du groupe de contrôle, qui, par définition, n'ont pas de date de traitement sont considérés comme étant traités à la date $g = 0$. Enfin on note $Y_{i,t}(g)$ le potentiel de log-consommation pour le logement i à la date t s'il appartenait à la cohorte g , c'est-à-dire s'il avait été traité à la date g . En particulier, $Y_{i,t}(0)$ correspond à la log-consommation du logement i à la date t s'il n'avait pas été traité. On considère l'effet moyen du traitement pour la cohorte g à la date t défini par :

$$ATT(g, t) = \mathbb{E}[Y_t(g) - Y_t(0) | G_g = 1] \quad (2)$$

Ce paramètre $ATT(g, t)$ est le principal paramètre d'intérêt et mesure l'effet du traitement pour chaque cohorte g à chaque période t . Les paramètres $ATT(g, t)$ sont estimés de façon non paramétrique, avec la méthode *doubly robust* (CALLAWAY et SANT'ANNA, 2021).

Comme les modèles d'*event-study* "classiques", l'identification est basée sur l'hypothèse de tendances parallèles entre le groupe traité et le groupe contrôle. Dans notre cas, le groupe de contrôle est l'ensemble des logements qui ne sont jamais bénéficiaires d'une rénovation aidée sur la période. Sur notre échantillon, nous disposons de 11 661 ménages traités et 67 538 ménages dans le groupe de contrôle (figure 3).

Afin de garantir la validité des hypothèses de tendances parallèles entre les groupes de contrôle et les groupes traités, et compte tenu des caractéristiques potentiellement distinctes de ces groupes (voir section 3), nous introduisons un ensemble de variables de

contrôle. Au niveau du logement, ces variables incluent la surface (en m²), le nombre d'étages, la date de construction et la zone climatique (voir Figure 9 pour une carte des zones climatiques françaises). Au niveau du ménage, nous contrôlons le niveau de vie et le nombre d'unités de consommation. Ces variables de contrôle sont constantes dans le temps, fixées au début de la période pour les variables susceptibles de changer dans le temps comme le niveau de vie (CALLAWAY et SANT'ANNA, 2021). Toutes les estimations sont réalisées sur les logements présents dans notre échantillon sur toute la période d'analyse. Les estimations sont toujours faites par type d'énergie de chauffage, c'est-à-dire que l'effet sur la consommation de gaz est estimé pour le groupe de logements chauffés au gaz, et l'effet sur la consommation d'électricité est estimé pour les logements chauffés à l'électricité (voir section 2.4 pour plus de détails sur notre prédiction de l'énergie de chauffage).

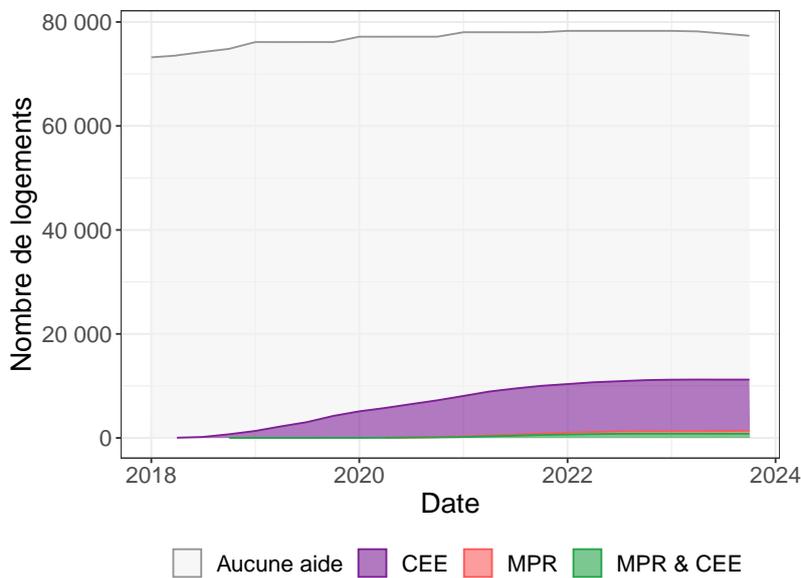


FIGURE 3 – **Dynamique des traitements par type d'aide**

Sources : Données consommation Gazpar et Linky, Fideli 2018 à 2022, ENL 2020, fichiers d'aide à la rénovation.

Les différents paramètres $ATT(g, t)$ sont ensuite agrégés de différentes manières, détaillées ci-dessous.

Agrégation : distance temporelle au traitement La première méthode d'agrégation permet une interprétation de type “*event-study*”, avec l'estimation de l'effet du traitement à différentes distances temporelles du traitement.

$$\theta_{ES}(e) = \sum_{g=2}^T 1(g + e \leq T) w_{ES}(g, e) ATT(g, g + e), \quad (3)$$

où T est le nombre de périodes, et $w_{ES}(g, e)$ représente les poids de chaque cohorte à une distance e du traitement, soit ici leur proportion dans la population des traités i.e. $w_{ES}(g, e) = \mathbb{P}[G = g | G + e \leq T]$.

Ce paramètre mesure l'effet moyen du traitement sur les traités à une distance e du traitement. Il permet notamment d'évaluer si l'effet du traitement s'amplifie ou s'amoindrit au cours du temps. Il permet également de s'assurer que les hypothèses de tendances parallèles, et d'absence d'anticipation, nécessaires à l'identification sont bien validées. Sous ces hypothèses, les paramètres $\theta_{ES}(e)$ doivent être nuls pour $e < 0$ (c'est-à-dire que la consommation d'énergie doit suivre, avant le traitement, la même tendance dans les deux groupes, traités et contrôle).

Agrégation : Date calendaire Il est aussi possible d'agréger les effets du traitement à différentes dates :

$$\theta_C(t) = \sum_{g=2}^T 1(g \leq t) w_C(g, t) ATT(g, t). \quad (4)$$

où $w_C(g, t)$ est la part de traités ayant été traités avant la date t , i.e. $w_C(g, t) = \mathbb{P}[G = g | G \leq t]$.

Ce paramètre s'interprète comme l'effet moyen du traitement sur la consommation d'énergie des traités en période t . Il permet notamment d'évaluer la saisonnalité des effets de la rénovation énergétique sur la consommation réelle d'énergie.

Agrégation : effet d'ensemble Il est aussi possible d'agréger les effets moyens du traitement par cohorte et par période afin d'avoir, en moyenne et toutes choses égales par ailleurs, une mesure de la réduction de la consommation énergétique due à la rénovation aidée du logement.

$$\theta_M = \frac{1}{\kappa} \sum_{g=2}^T \sum_{t=2}^T 1(g \leq t) w_M(g, t) ATT(g, t) \quad (5)$$

où $w_M(g, t) = \mathbb{P}[G = g | G \leq t]$ et $\kappa = \sum_{g=2}^T \sum_{t=2}^T 1(g \leq t) w_M(g, t)$

Hétérogénéité de l'effet L'impact de la rénovation énergétique est susceptible de varier en fonction des caractéristiques spécifiques des travaux entrepris ou des logements concernés. Afin d'évaluer cette hétérogénéité, nous proposons d'analyser les différences de réduction de consommation selon divers critères. Pour ce faire, nous estimons nos modèles économétriques sur des sous-échantillons de logements. Deux configurations se présentent :

Hétérogénéité spécifique au traitement Lorsque le critère de différenciation est directement lié à la nature de la rénovation (par exemple, le type de travaux réalisés), nous considérons dans chaque sous-modèle uniquement une sous-population spécifique de logements ayant bénéficié du traitement. Le groupe

de contrôle demeure inchangé afin de maintenir une base de comparaison pertinente.

Hétérogénéité selon un critère commun à l'ensemble des logements

Lorsque le critère de différenciation est une caractéristique partagée par tous les logements (traités et non traités), telle que la zone climatique, nous réalisons l'estimation d'un sous-modèle sur l'ensemble des logements appartenant à cette sous-population spécifique. Cette approche permet d'évaluer si l'effet du traitement varie en fonction de cette caractéristique structurelle.

Les données disponibles ne contiennent pas les étiquettes de diagnostic de performance énergétique des logements. Néanmoins, nous pouvons utiliser les données de consommation pour recalculer une classe de performance énergétique du logement à partir des seuils de l'arrêté du 25 mars 2024¹¹. Pour chaque logement, nous calculons les niveaux de consommation d'énergie finale puis nous comparons les niveaux obtenus avec les seuils définis dans l'arrêté. Nous obtenons ainsi des classes de logements suivant leur niveau de consommation d'énergie et d'émission de CO₂, de la même manière que pour les DPE, mais sur la consommation réelle. Ainsi, les logements sont classés en trois groupes suivant leur niveau de consommation avant travaux : consommation faible (inférieure à 110 kWh/(m²,an) d'énergie primaire), consommation modérée (entre 110 kWh/(m²,an) et 330 kWh/(m²,an) d'énergie primaire) et consommation forte (plus de 330 kWh/(m²,an) d'énergie primaire)¹².

11. Arrêté du 25 mars 2024 modifiant les seuils des étiquettes du diagnostic de performance énergétique pour les logements de petites surfaces et actualisant les tarifs annuels de l'énergie, NOR :TREL2330369A <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2024/3/25/TREL2330369A/jo/texte>

12. Ces seuils de consommation sont définis à partir des seuils utilisés dans les étiquettes DPE.

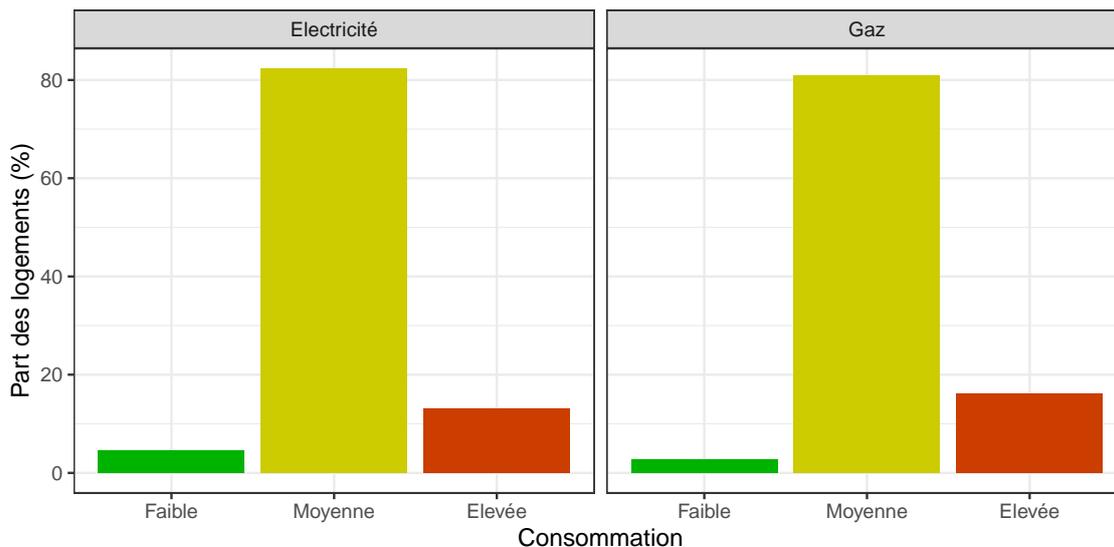


FIGURE 4 – **Distribution des logements selon leur niveau de consommation avant travaux et suivant l'énergie de chauffage principale prédite.**

Source : Données de consommation, SDES, Fidéli 2018-2022, calculs des auteurs

Comparaison aux gains conventionnels Afin d'évaluer les gains réels de consommation, nous estimons le modèle principal en utilisant la consommation trimestrielle en MWh comme variable dépendante $Y_{i,t}$ (au lieu du logarithme comme précédemment). L'effet moyen du traitement est une estimation de la réduction trimestrielle moyenne de la consommation énergétique pour les ménages ayant bénéficié d'une aide à la rénovation après la réalisation des travaux. À partir de cette estimation trimestrielle, nous pouvons ensuite déterminer la réduction annuelle moyenne et la comparer aux économies conventionnelles d'énergie. Ces estimations sont comparées aux gains conventionnels, tels que fournis par un modèle (voir section 2.2).

Effets sur les émissions de CO₂ A partir des données de consommation réelle, nous pouvons estimer la réduction des émissions moyennes de CO₂ des logements rénovés. Pour cela nous utilisons les coefficients de conversion d'énergie en émissions de la RE2020. De la même manière que pour la mesure des gains réels, nous estimons la réduction annuelle moyenne des émissions de CO₂ consécutive aux travaux de rénovation.

Réduction de la facture d'énergie Nous pouvons convertir la consommation d'énergie en coût monétaire annuel moyen pour le ménage à partir des prix moyens trimestriels de l'énergie (JEZIORO, 2024a ; JEZIORO, 2024b). De la même manière que précédemment, nous estimons la réduction annuelle moyenne de la facture d'énergie consécutive aux travaux de rénovation pour les ménages rénovateurs.

5 Résultats

Cette partie détaille les résultats des estimations des modèles décrits dans la partie 4. Rappelons que ces résultats ne portent que sur les ménages propriétaires occupants d’une maison individuelle, ayant réalisé des travaux d’isolation sans effectuer d’autres rénovations. Ils ne sont donc pas généralisables à l’ensemble des travaux de rénovation, d’autant plus que les rénovations d’ampleur sont recommandées pour maximiser les économies d’énergie, ni à l’ensemble du parc de logements en France.

Nous fournissons également plusieurs tests de robustesse visant à garantir la justesse de nos estimations. Les résultats de ces tests sont reportés en annexe B.2, où nous calculons l’estimateur à doubles effets fixes classique (équation 1), ainsi qu’en annexe B.3 où nous calculons l’estimateur proposé par SUN et ABRAHAM (2021). Pour chacun de ces tests, les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur, ce qui indique que les estimations ne sont pas spécifiques à la méthode choisie.

Ménages chauffés à l’électricité Pour les ménages dont l’énergie principale de chauffage a été identifiée comme étant l’électricité, les travaux d’isolation aidés du logement entraînent une réduction moyenne de la consommation d’électricité de 5,4 % sur tous les trimestres post-traitement (tableau 5). Cette réduction porte sur l’ensemble de la consommation d’électricité du ménage, y compris les usages spécifiques de l’électricité en dehors du chauffage (éclairage, appareils électroniques, etc.). Ces usages représentent près d’un tiers de la consommation d’énergie des ménages (COLIN et al., 2022). Sur la période étudiée, les ménages ayant rénové leur logement ont consommé en moyenne 10,4 MWh d’électricité par an avant les travaux. La réduction de consommation suite aux travaux se traduit par une économie d’énergie annuelle moyenne de 0,5 MWh/an. L’effet mesuré, bien que statistiquement significatif, s’avère inférieur aux gains énergétiques conventionnels pour les logements rénovés, lesquels sont estimés à 1,4 MWh/an (table 3). Ainsi, les gains réels représentent 36 % des gains conventionnels. Cet écart entre les gains réels et conventionnels est en accord avec ceux de la littérature (voir CHRISTENSEN et al., 2023). La diminution de la consommation énergétique suite aux travaux se traduit également par une diminution de la facture d’énergie. Sur la période étudiée, les ménages dont l’énergie de chauffage est l’électricité avaient une facture annuelle moyenne de 1900€ avant les travaux d’isolation. Les estimations conduisent à une réduction de la facture d’énergie en moyenne de 114€ par an¹³ (table 3). Il n’est pas possible de mettre directement en regard cette économie avec le coût des travaux pour l’ensemble des logements rénovés, car cette information n’est pas disponible pour ceux ayant bénéficié du CEE. Néanmoins, nous disposons du prix des travaux pour les ménages ayant bénéficié de MPR : pour les travaux considérés ici, le coût moyen

13. Les gains monétaires sont légèrement plus importants que les gains d’énergie car les prix de l’énergie sont plus élevés en fin de période quand les ménages rénovateurs sont les plus nombreux.

de l'isolation est de 14 300€, tandis que l'économie de consommation d'énergie pour ces ménages est de 120€ par an en moyenne (voir annexe C). Cela signifie que l'investissement nécessaire pour la réalisation des travaux n'est rentabilisé financièrement qu'à très long terme. Néanmoins, l'isolation des logements peut améliorer le confort du ménage (moins de pollution sonore pour les changements de fenêtre, moins d'humidité,..) et à terme avoir des effets bénéfiques sur la santé en limitant l'exposition aux températures trop basses en intérieur notamment (DOMERGUE et al., 2022). Enfin, les émissions de CO₂ avant travaux pour les ménages chauffés à l'électricité pour leur consommation d'électricité sont estimées à 820 kg de CO₂ par an en moyenne. La réalisation de travaux aidés de rénovation permet de réduire les émissions de 40 kg par an (table 3), l'électricité étant une énergie peu émettrice de carbone en France.

La réduction de la consommation se manifeste dès la fin des travaux et reste stable jusqu'à douze trimestres après la réalisation des rénovations (figure 5a). L'accroissement des écarts-types à partir de 12 trimestres pourrait être attribué à la rareté des données disponibles pour évaluer l'effet à cette distance temporelle du traitement¹⁴. L'effet s'intensifie lors des trimestres caractérisés par des températures extérieures plus basses, nécessitant une utilisation plus intensive du chauffage (figure 5b). Ce constat suggère que les réductions de consommation d'énergie sont principalement imputables, comme attendu, à la diminution des besoins en chauffage. Par ailleurs, une légère surconsommation d'électricité durant les trimestres les plus chauds est observée pour les ménages ayant bénéficié de travaux d'isolation aidés, ce qui pourrait indiquer une augmentation de la consommation liée à d'autres usages comme la climatisation par exemple (figure 5b).

Si l'on distingue plus précisément selon les gestes effectués, l'analyse de l'effet moyen sur la consommation d'électricité des ménages chauffés à l'électricité révèle que les travaux d'isolation des murs induisent une réduction significative de la consommation, estimée à 7,4 % (tableau 5). De même, l'isolation des combles, planchers et toitures contribue à une diminution de la consommation de l'ordre de 5,4 %. L'isolation des fenêtres et portes-fenêtres ne semble pas avoir d'effet significatif sur la consommation d'énergie. L'effet estimé des rénovations comportant plusieurs gestes est élevé, mais n'est pas statistiquement significatif (ce qui peut être dû au fait qu'il est estimé sur un très faible nombre de ménages, ce qui induit une faible puissance statistique). Les travaux d'isolation des combles entraînent donc une réduction de la consommation de 0,5MWh/an, nettement inférieure aux gains conventionnels estimés à 1,1 MWh/an. (table 4). Les travaux d'isolation des murs entraînent une réduction de la consommation également moindre qu'anticipée, avec un gain estimé de 0,7 MWh/an contre 3,3 MWh/an par les calculs conventionnels. Nous ne

14. L'estimation de l'effet au-delà de 12 trimestres repose uniquement sur les ménages ayant fait des travaux d'isolation au cours de l'année 2018 qui sont les seuls pour lesquels nous disposons d'information à cette distance du traitement.

trouvons pas de différences significatives entre les effets des rénovations selon l'aide reçue (tableau 5).

L'effet des travaux d'isolation varie sensiblement selon le type de logement, et plus particulièrement le niveau de consommation avant travaux (la distribution des niveaux de consommations est en figure 4). Ainsi, pour les logements ayant une consommation d'énergie élevée (14 % de notre échantillon), l'estimation de la réduction de consommation électrique consécutive aux travaux de rénovation s'élève à 9,2 %. Pour ceux ayant une consommation moyenne (soit près de 80 % de notre échantillon), l'effet observé est plus modeste, se situant à 4,5 %. Concernant les logements présentant une consommation initiale faible, nos estimations suggèrent une augmentation de la consommation après rénovation, une observation qui pourrait s'expliquer par une évolution des usages spécifiques de l'électricité, non directement liés au chauffage (électroménager, éclairage, appareils audiovisuels et informatiques, climatisation...) et de plus faibles bénéfices de la rénovation, ou bien par la présence de ménages qui renonçaient à se chauffer dans un logement trop énergivore avant les travaux (figure 8a et tableau 5). En effet, les ménages présentant une faible consommation d'électricité avant travaux ont un niveau de vie médian plus faible (23 966€ contre 25 082€ pour les autres ménages) et sont donc plus contraints financièrement. Cette hausse de la consommation peut s'apparenter à un effet "rebond", dans la mesure où des ménages en situation de précarité énergétique peuvent augmenter leur consommation dans une maison mieux isolée afin d'atteindre leur température de confort. Cependant, l'étude ne permet pas de confirmer cette hypothèse, faute d'informations sur les comportements des ménages. D'autres éléments explicatifs peuvent être envisagés, tels qu'une occupation du logement devenant plus régulière ou une évolution de la composition familiale entraînant une augmentation du nombre d'occupants. Les autres caractéristiques intrinsèques des logements étudiées semblent exercer une influence relativement limitée sur l'impact de la rénovation énergétique. L'analyse révèle enfin une faible variabilité de l'effet de la rénovation sur la consommation d'électricité des ménages dont le chauffage principal est électrique, en fonction des caractéristiques socio-démographiques des occupants.

Ménages chauffés au gaz Les ménages chauffés au gaz et ayant effectué des travaux d'isolation aidés connaissent une baisse moyenne de la consommation de 8,9 % suite aux travaux d'isolation (tableau 6), soit un gain réel de 0,9MWh PCI par an et par logement (table 3). L'effet de l'isolation sur la consommation est plus élevé en pourcentage pour la consommation de gaz que pour l'électricité car l'électricité, contrairement au gaz, est mobilisée pour de nombreux usages en dehors du chauffage. Comme pour l'électricité, cet effet est inférieur aux gains conventionnels, qui s'élèvent à 1,9MWh PCI par an. La réduction de la consommation de gaz s'accompagne d'une baisse de la facture annuelle de 91€ par an en moyenne sur l'ensemble des ménages. Comme décrit plus haut, nous ne disposons pas du prix des travaux pour les ménages ayant bénéficié du CEE. Pour les

ménages ayant bénéficié de MaPrimeRénov' pour la réalisation de leurs travaux, et pour lesquels nous disposons des montants des travaux, le coût moyen de l'isolation a été de 13 700€. Pour ces ménages, le gain annuel moyen estimé sur la facture est de 150€ (voir annexe C). Enfin, l'isolation aidée des logements a permis une diminution des émissions de CO₂ de 199 kg par an et par logement.

Comme pour l'électricité, cette réduction de la consommation est stable dans le temps, et significative jusqu'à plusieurs trimestres après la fin des travaux (18 trimestres, soit plus de 4 ans, Figure 6a). Les coefficients estimés avant la date de traitement sont nuls, ce qui conforte notre hypothèse de tendances parallèles entre groupes traité et contrôle, tout comme dans le cas de l'électricité.

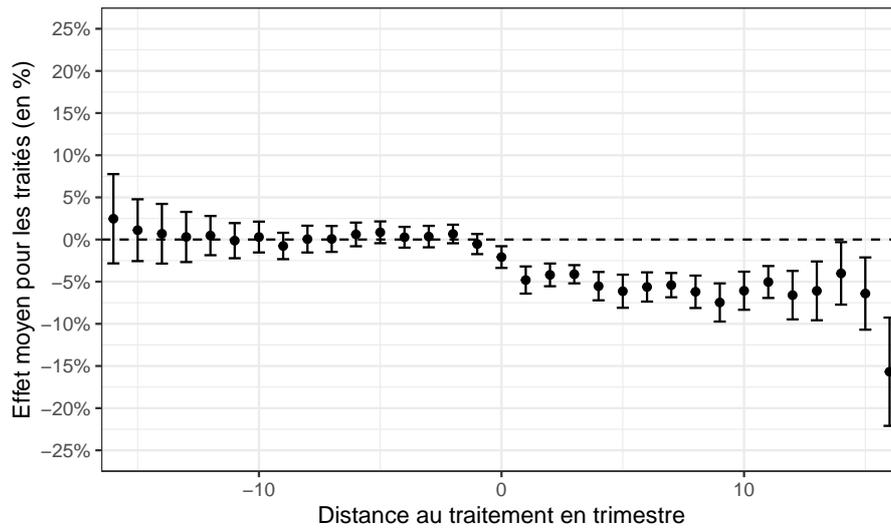
Comme attendu, et comme pour les ménages chauffés à l'électricité, l'isolation n'a pas d'effet, ou un effet beaucoup plus faible, sur la consommation de gaz durant les trimestres d'été (figure 6b). Durant les trimestres les plus chauds, c'est-à-dire ayant les DJU les plus faibles, les travaux d'isolation aidés entraînent une réduction nulle ou faible de la consommation de gaz.

L'effet moyen sur la consommation de gaz est statistiquement significatif pour tous les gestes d'isolation, avec une réduction de la consommation de 13,9 % pour les logements ayant été isolés par les murs, de 8,3 % par les combles, planchers ou toitures, et de 6 % par les fenêtres/portes-fenêtres (Table 6). Là encore, l'effet estimé pour l'isolation avec plusieurs gestes est élevé mais non significatif, du fait du faible nombre d'observations. À l'exception des changements de fenêtres, les réductions de la consommation de gaz sont inférieures aux gains conventionnels estimés avec une diminution de 0,8 MWh/an en moyenne pour l'isolation des combles quand les gains conventionnels sont estimés à 1,5 MWh/an, 1,7 MWh/an pour l'isolation des murs et des gains conventionnels de 3,6 MWh/an, et 0,5 MWh/an pour l'isolation des fenêtres/portes-fenêtres pour lesquels les gains conventionnels estimés sont de 0,6 MWh/an (table 4). L'effet estimé est également significatif quelle que soit l'aide reçue, avec un effet statistiquement significatif de 8,4 % pour les rénovations aidées par CEE, de 9,1 % pour les rénovations aidées par MPR, et de 14,8 % pour les rénovations aidées par CEE et MPR, ces aides étant cumulables (table 6).

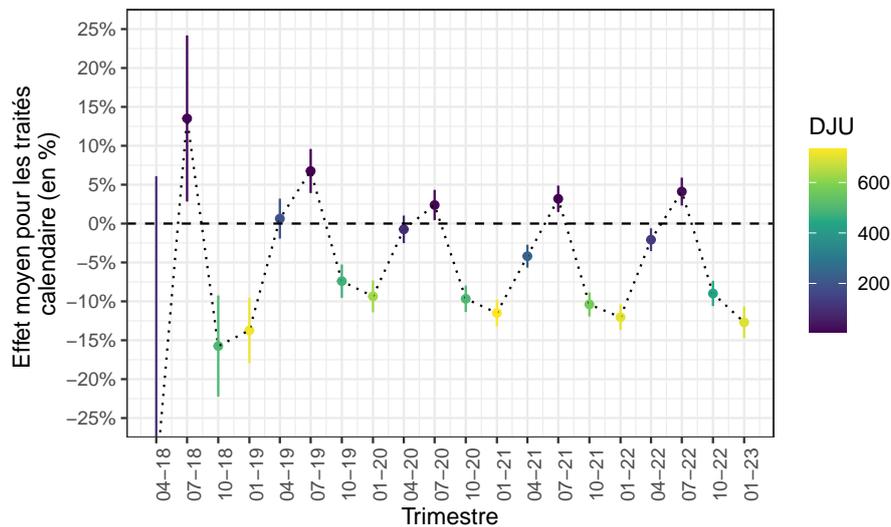
L'effet est également hétérogène selon le type de logement, et en particulier selon le niveau de consommation énergétique initial. Nous estimons qu'environ 16 % des logements de notre échantillon avaient une consommation élevée avant travaux, et pour ces logements l'effet de la rénovation sur les consommations de gaz est nettement supérieur que pour les autres, atteignant une réduction de 16,6 % (Table 6 et Figure 8b). L'effet est négatif et significatif pour les logements dont les consommations énergétiques initiales sont moyennes, avec une réduction de 8,6 %. Comme pour l'électricité, nous observons un effet significatif et positif sur les logements initialement très peu consommateurs (qui représentent 2,8 %

des logements chauffés au gaz dans notre échantillon), qui sont également plus modestes, avec un niveau de vie médian de 23 708€, alors que les autres ménages chauffés au gaz ont un niveau de vie médian de 27 027€.

Les autres dimensions d'hétérogénéité du logement ne soulèvent pas de différences particulièrement marquées, que ce soit entre les périodes de construction, les surfaces de logement ou la zone climatique (tableau 6). Au niveau du ménage, nous n'observons pas d'effet significatif de l'isolation sur la consommation de gaz pour les ménages appartenant au premier cinquième de niveau de vie.



(a) Estimation de l'effet de la rénovation sur la consommation, à différentes distances des travaux ($\theta_{ES}(e)$)

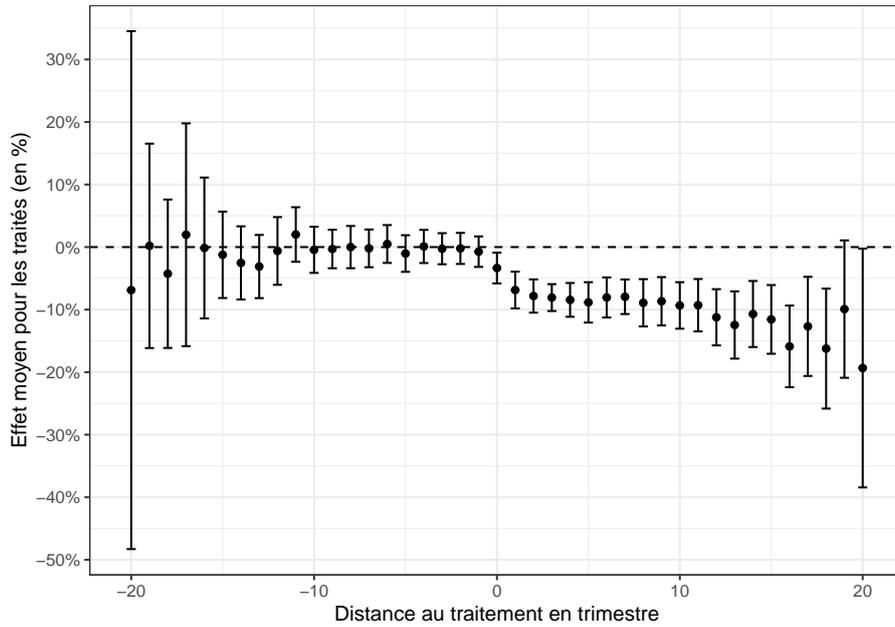


(b) Estimation de l'effet moyen de la rénovation selon le trimestre ($\theta_C(t)$)

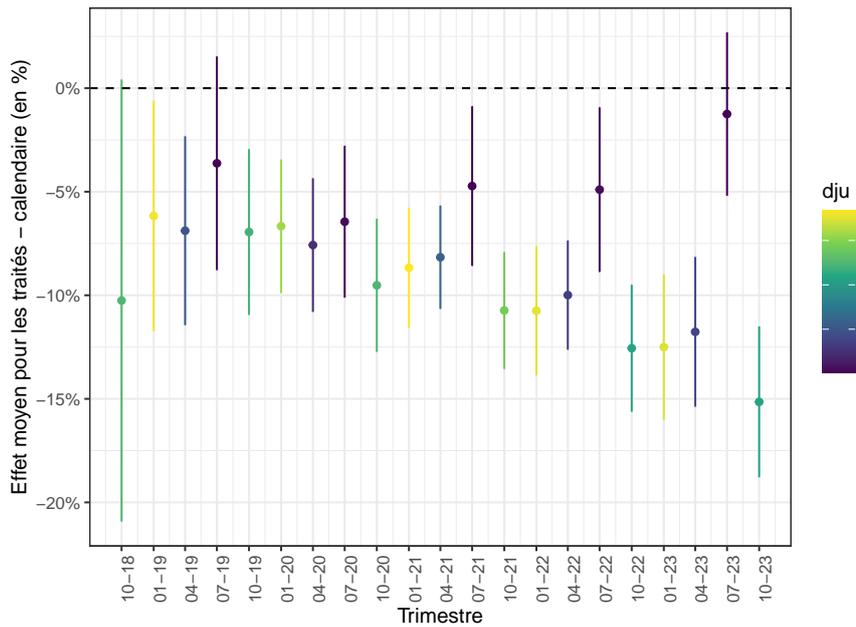
FIGURE 5 – Effets moyen du traitement selon la distance au traitement et selon la date pour les ménages chauffés à l'électricité

Source : Données de consommation SDES, Fidéli 2018-2022, calculs des auteurs

Note : Les barres verticales correspondent aux intervalles de confiance à 95 %



(a) Estimation de l'effet de la rénovation sur la consommation, à différentes distances des travaux ($\theta_{ES}(e)$)

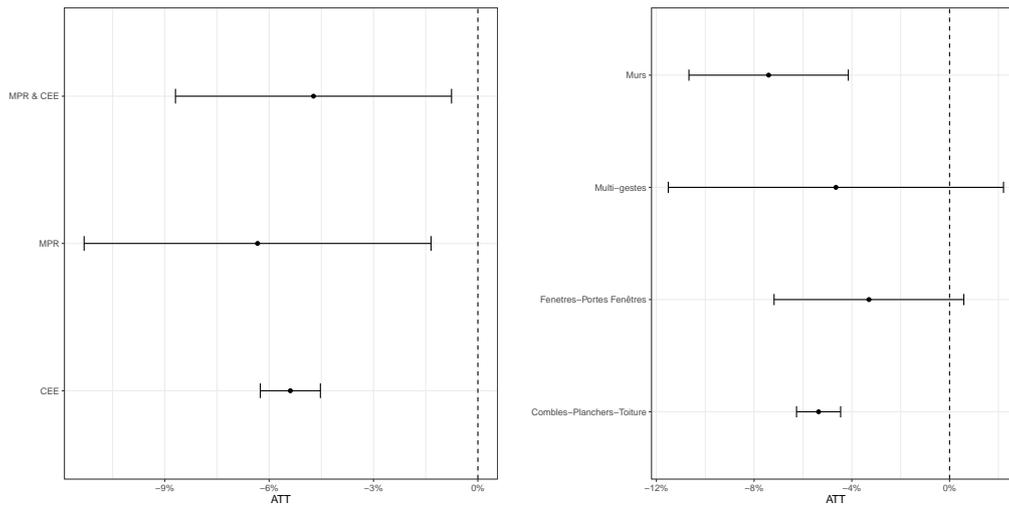


(b) Estimation de l'effet moyen de la rénovation selon le trimestre ($\theta_C(t)$)

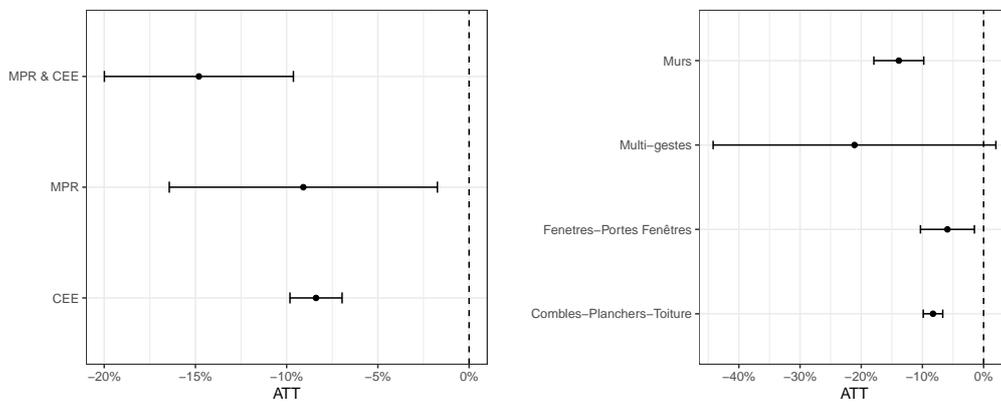
FIGURE 6 – Effets moyen du traitement selon la distance au traitement et selon la date pour les ménages chauffés au gaz

Source : Données de consommation SDES, Fidéli 2018-2022, calculs des auteurs

Note : Les barres verticales correspondent aux intervalles de confiance à 95 %



(a) Hétérogénéité selon le type d'aide - Elec- (b) Hétérogénéité selon le type de geste -
tricité Electricité



(c) Hétérogénéité selon le type d'aide - Gaz (d) Hétérogénéité selon le type de geste - Gaz

FIGURE 7 – Hétérogénéité de l'effet du traitement selon le type de geste et le type d'aide pour les ménages.

Source : Données de consommation SDES, Fidéli 2018-2022, calculs des auteurs

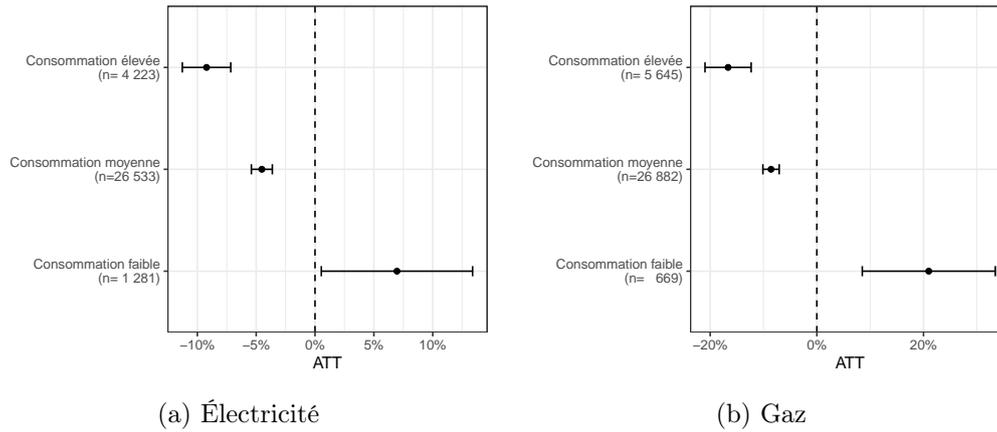


FIGURE 8 – **Hétérogénéité de l'effet du traitement selon les niveaux de consommation avant travaux selon le type d'énergie de chauffage**

Source : Données de consommation SDES, Fidéli 2018-2022, calculs des auteurs

	Energie de chauffage	
	Electricité	Gaz
Consommation (MWh)		
Consommation	10.4	13.7
Gain conventionnel	1.4	1.9
Gains réels	0.5 (0.04)*	0.9 (0.1)*
Facture (euros)		
Facture	1899.3	1100.9
Gains facture	114 (7)*	91 (5)*
Emission (kg)		
Emission CO2	823.2	3101.1
Gain émission	40 (3)*	199 (16)*

TABLE 3 – **Consommation, facture et émission de CO2 annuels moyens et gains associés.**

Source : Données de consommation SDES, Fidéli 2018-2022, calculs des auteurs, écart type entre parenthèse

Geste	Consommation (MWh/an)	Gain conventionnel (MWh/an)	Gain réel (MWh/an)
Electricité			
Combles, planchers, toiture	10.4	1.1	0.5 (0.04)*
Fenêtres	10.0	0.7	0.4 (0.22)
Multi gestes	10.5	2.0	0.5 (0.27)
Murs	10.6	3.3	0.7 (0.16)*
Gaz			
Combles, planchers, toiture	12.8	1.5	0.8 (0.13)*
Fenêtres	14.4	0.6	0.5 (0.45)
Multi gestes	16.6	2.1	0.2 (1.2)
Murs	15.4	3.6	1.7 (0.35)*

TABLE 4 – **Comparaison des gains par type de gestes**

Note : Ecart-type entre parenthèses.

Source : Données de consommation SDES, Fidéli 2018-2022, calculs des auteurs

TABLE 5 – Effet global et effets par variables d’hétérogénéité de l’isolation sur la consommation d’électricité (en %) pour les ménages chauffés à l’électricité

Catégorie	Effet Estimé	Ec. Type	Intervalle de confiance
Global			
Global	-5.39	0.39	[-6.16,-4.62]*
Aides			
CEE	-5.39	0.44	[-6.25,-4.53]*
MPR	-6.33	2.54	[-11.32,-1.35]*
MPR & CEE	-4.73	2.02	[-8.69,-0.76]*
Gestes			
Murs	-7.41	1.66	[-10.67,-4.14]*
Combles-Planchers-Toiture	-5.36	0.46	[-6.26,-4.46]*
Fenêtres-Portes-fenêtres	-3.30	1.98	[-7.18,0.58]
Multi-gestes	-4.65	3.50	[-11.51,2.21]
Date de construction			
Avant 1948	-5.47	1.50	[-8.41,-2.53]*
Entre 1949 et 1975	-5.55	1.25	[-8.01,-3.1]*
entre 1976 et 1995	-5.73	0.58	[-6.86,-4.6]*
Après 1995	-5.02	0.63	[-6.25,-3.78]*
Surface habitable			
Moins de 77 m ²	-4.47	1.32	[-7.06,-1.87]*
de 78 à 91 m ²	-6.47	0.82	[-8.07,-4.87]*
de 92 à 107 m ²	-4.84	0.85	[-6.49,-3.18]*
de 107 à 132 m ²	-6.10	0.95	[-7.96,-4.25]*
plus de 132 m ²	-4.57	0.92	[-6.38,-2.76]*
Consommation avant travaux			
Consommation faible	6.96	3.34	[0.42,13.5]*
Consommation moyenne	-4.52	0.45	[-5.4,-3.64]*
Consommation élevée	-9.22	0.99	[-11.15,-7.28]*
Zone Climatique			
H1a	-6.62	0.96	[-8.5,-4.73]*
H1b	-3.59	2.26	[-8.01,0.83]
H1c	-5.01	1.28	[-7.52,-2.51]*
H2a	-2.19	3.11	[-8.28,3.91]
H2b	-5.51	1.00	[-7.46,-3.55]*
H2c	-5.01	0.83	[-6.63,-3.38]*
H2d	-2.12	2.54	[-7.11,2.86]
H3	-6.07	0.94	[-7.9,-4.23]*
Cinquième de niveau de vie du ménage			
Q1	-3.20	1.20	[-5.54,-0.85]*
Q2	-6.92	0.82	[-8.53,-5.31]*
Q3	-4.92	0.73	[-6.35,-3.49]*
Q4	-6.65	0.88	[-8.37,-4.94]*
Q5	-5.26	1.23	[-7.66,-2.85]*
Age de la personne de référence			
Moins de 40 ans	-4.72	1.59	[-7.84,-1.61]*
de 41 à 55 ans	-4.59	0.70	[-5.97,-3.22]*
de 56 à 65 ans	-6.02	0.94	[-7.86,-4.18]*
de 66 à 75 ans	-6.76	0.90	[-8.52,-5.01]*
plus de 75 ans	-4.59	1.05	[-6.65,-2.53]*

TABLE 6 – Effet global et effets par variables d’hétérogénéité de l’isolation sur la consommation de gaz (en %) pour les ménages chauffés au gaz

Catégorie	Effet Estimé	Ec. Type	Intervalle de confiance
Global			
Global	-8.88	0.73	[-10.32,-7.44]*
Aides			
CEE	-8.39	0.73	[-9.82,-6.96]*
MPR	-9.09	3.75	[-16.43,-1.74]*
MPR & CEE	-14.81	2.64	[-19.99,-9.63]*
Gestes			
Murs	-13.86	2.08	[-17.94,-9.78]*
Combles-Planchers-Toiture	-8.27	0.81	[-9.87,-6.68]*
Fenêtres-Portes-fenêtres	-5.91	2.25	[-10.32,-1.5]*
Multi-gestes	-21.10	11.79	[-44.21,2.01]
Date de construction			
Avant 1948	-10.34	1.39	[-13.07,-7.61]*
Entre 1949 et 1975	-6.61	1.63	[-9.8,-3.41]*
entre 1976 et 1995	-9.70	1.34	[-12.33,-7.07]*
Après 1995	-8.89	1.39	[-11.61,-6.17]*
Surface habitable			
Moins de 77 m ²	-7.60	1.58	[-10.69,-4.51]*
de 78 à 91 m ²	-11.92	1.55	[-14.95,-8.88]*
de 92 à 107 m ²	-6.66	1.53	[-9.66,-3.67]*
de 107 à 132 m ²	-6.56	1.94	[-10.36,-2.76]*
plus de 132 m ²	-11.27	2.03	[-15.25,-7.3]*
Consommation avant travaux			
Consommation faible	20.99	6.39	[8.46,33.51]*
Consommation moyenne	-8.59	0.75	[-10.07,-7.11]*
Consommation élevée	-16.64	2.27	[-21.1,-12.19]*
Zone Climatique			
H1a	-10.54	2.39	[-15.23,-5.85]*
H1b	-4.17	4.55	[-13.08,4.74]
H1c	-6.62	2.27	[-11.07,-2.18]*
H2b	-9.15	3.26	[-15.55,-2.75]*
H2c	-5.25	3.47	[-12.06,1.55]
H2d	-1.29	10.92	[-22.69,20.12]
H3	-6.06	2.70	[-11.35,-0.77]*
Cinquième de niveau de vie du ménage			
Q1	-2.55	4.46	[-11.3,6.19]
Q2	-9.18	2.44	[-13.95,-4.4]*
Q3	-11.03	2.30	[-15.55,-6.52]*
Q4	-6.10	2.32	[-10.64,-1.55]*
Q5	-6.61	2.69	[-11.89,-1.33]*
Age de la personne de référence			
Moins de 40 ans	-4.80	4.65	[-13.92,4.31]
de 41 à 55 ans	-6.17	2.09	[-10.27,-2.06]*
de 56 à 65 ans	-11.78	2.68	[-17.04,-6.52]*
de 66 à 75 ans	-7.41	2.19	[-11.71,-3.11]*
plus de 75 ans	-6.20	2.91	[-11.91,-0.5]*

6 Conclusion

Cette étude est la première à exploiter les données de consommation réelle issues des compteurs communicants d'un échantillon d'un million de ménages. Elle présente une évaluation de l'effet des gestes d'isolation aidés sur la consommation réelle d'électricité et de gaz des ménages. L'analyse, limitée aux ménages ayant uniquement entrepris des gestes d'isolation, montre une baisse moyenne de consommation trimestrielle de 5,4 % pour l'électricité pour les ménages chauffés à l'électricité et de 8,9 % pour le gaz pour les ménages chauffés au gaz. L'essentiel de ces gains provient des gestes d'isolation des murs, planchers, combles et toitures. Pour l'isolation des fenêtres et portes-fenêtres, un geste minoritaire dans notre échantillon (Table 2), l'effet est faible sur le gaz pour les logements chauffés au gaz et non significatif sur l'électricité pour les logements chauffés à l'électricité. Entre 36 % et 48 % des gains conventionnels tels qu'estimés en fonction des caractéristiques du logement sont effectivement réalisés. Ces gains correspondent à une économie de 40 kg de CO₂ par an et par logement chauffé à l'électricité, et de 200 kg de CO₂ par an et par logement chauffé au gaz.

Ces gains pour l'énergie de chauffage sont hétérogènes selon le type de logement, et sont notablement plus marqués pour les logements dont la consommation avant travaux était importante. Dans ces logements très consommateurs, ils atteignent 9,2 % lorsqu'ils sont chauffés à l'électricité et 16,6 % lorsqu'ils sont chauffés au gaz.

Ces résultats sont estimés sur une partie seulement des travaux de rénovation financés par des aides (les travaux d'isolation sans rénovations complémentaires). Ils ne portent par ailleurs que sur les ménages occupant une maison individuelle. Ces gains ne sont donc pas généralisables à l'ensemble des travaux de rénovation, d'autant plus que les rénovations d'ampleur réunissant plusieurs gestes de travaux simultanés sont recommandées pour maximiser les économies d'énergie.

Par ailleurs, l'analyse conduite permet d'estimer les gains en termes de consommation énergétique de faire des travaux d'isolation. Elle ne permet donc pas d'établir un bilan complet des aides à la rénovation : les aides peuvent également avoir une dimension incitative, en amenant plus de ménages à entreprendre des travaux de rénovation qu'en l'absence de ces aides (marge extensive) ou en leur permettant d'augmenter l'ampleur de ces travaux (marge intensive). Une évaluation complète de la politique des aides à la rénovation devrait également étudier ces effets incitatifs. Par le passé, une évaluation du crédit d'impôt développement durable (CIDD), prédécesseur du CITE (crédit d'impôt à la transition énergétique), avait montré qu'une hausse du crédit d'impôt s'accompagnait bel et bien d'un recours plus important, et permettait à plus de ménages de réaliser des travaux d'amélioration de la qualité énergétique de leur logement (MAUROUX, 2014).

Enfin cette étude est une première exploitation d'une base de données très riche à partir de laquelle d'autres travaux pourront être menés pour compléter l'évaluation de l'impact des rénovations énergétiques sur les consommations réelles d'énergie. Ces travaux ultérieurs pourront porter notamment sur l'impact des changements de chauffage, sur la rénovation des logements collectifs, sur les rénovations d'ampleur.

Références

- BAKALOGLOU, S., & CHARLIER, D. (2019). Energy consumption in the french residential sector : How much do individual preferences matter ? *The Energy Journal*, 40(3), 77-100.
- BAKALOGLOU, S., & CHARLIER, D. (2021). The role of individual preferences in explaining the energy performance gap. *Energy Economics*, 104, 105611.
- BELAID, F., YOUSSEF, A. B., & OMRANI, N. (2020). Investigating the factors shaping residential energy consumption patterns in France : evidence from quantile regression. *The European Journal of Comparative Economics*, 17(1), 127-151.
- BERNARD, L., HACKETT, A., METCALFE, R. D., & SCHEIN, A. (2024). *Decarbonizing Heat : The Impact of Heat Pumps and a Time-of-Use Heat Pump Tariff on Energy Demand* (rapp. tech.). National Bureau of Economic Research.
- BLAISE, G., & GLACHANT, M. (2019). Quel est l'impact des travaux de rénovation énergétique des logements sur la consommation d'énergie. *La Revue de l'énergie*, 646, 46-60.
- BRUGUET, M., THOMAS, A., & LE SAOUT, R. (2024). Weather Effects in Energy Seasonal Adjustment : An Application to France Energy Consumption. *The Energy Journal*, 01956574251330845.
- CALLAWAY, B., & SANT'ANNA, P. H. (2021). Difference-in-differences with multiple time periods. *Journal of Econometrics*, 225(2), 200-230.
- CAUMONT, R., MERLY-ALPA, T., & RATHLE, J. (2022). *La rénovation énergétique des maisons individuelles, résultats de l'enquête Tremi 2020* (rapp. tech.).
- CHARLIER, D. (2021). Explaining the energy performance gap in buildings with a latent profile analysis. *Energy Policy*, 156, 112480.
- CHRISTENSEN, P., FRANCISCO, P., MYERS, E., & SOUZA, M. (2023). Decomposing the wedge between projected and realized returns in energy efficiency programs. *Review of Economics and Statistics*, 105(4), 798-817.
- COLIN, S., FENDRICH, Y., LEFRANC, S., BENOIT, M., MOREL, R., NOUVELLON, Q., POLARD, G., & RATRAU, G. (2022). *Chiffres clés du logement 2022* (rapp. tech.). SDES.
- de CHAISEMARTIN, C., & D'HAULTFOEUILLE, X. (2021). Two-way fixed effects and differences-in-differences with heterogeneous treatment effects : A survey. *SSRN Electron. J.*
- DOMERGUE, S., MEYNARD, C.-L., MEURISSE, B., & ROBINET, A. (2022). *Rénovation énergétique des logements : des bénéfices de santé significatifs* (rapp. tech.).
- FOWLIE, M., GREENSTONE, M., & WOLFRAM, C. (2018). Do energy efficiency investments deliver ? Evidence from the weatherization assistance program. *The Quarterly Journal of Economics*, 133(3), 1597-1644.
- GOODMAN-BACON, A. (2021). Difference-in-differences with variation in treatment timing. *Journal of econometrics*, 225(2), 254-277.

- JEZIORO, E. (2024a). *Prix de l'électricité en France et dans l'Union européenne en 2023* (rapp. tech.). SDES.
- JEZIORO, E. (2024b). *Prix du gaz naturel en France et dans l'Union européenne en 2023* (rapp. tech.). SDES.
- KRASZEWSKI, M., & PAURON, A. (2024). *Les rénovations énergétiques aidées du secteur résidentiel entre 2016 et 2021* (rapp. tech.). ONRE.
- LENZI, E., MASSON, K., MORA, V., & PRUSSE, S. (2025). Près de 5 millions de ménages en situation de vulnérabilité énergétique pour leur logement en 2021. *Insee Analyses*.
- MAUROUX, A. (2014). Le crédit d'impôt dédié au développement durable : une évaluation économétrique. *Économie & prévision*, 204205(1), 89-117.
- PEÑASCO, C., & ANADON, L. D. (2024). A comment on “Assessing the effectiveness of energy efficiency measures in the residential sector gas consumption through dynamic treatment effects : Evidence from England and Wales”.
- PEÑASCO, C., & DÍAZ ANADÓN, L. (2023). Assessing the effectiveness of energy efficiency measures in the residential sector gas consumption through dynamic treatment effects : Evidence from England and Wales. *Energy Economics*, 117, 106435.
- SUN, L., & ABRAHAM, S. (2021). Estimating dynamic treatment effects in event studies with heterogeneous treatment effects. *Journal of econometrics*, 225(2), 175-199.

A Carte des zones climatiques en France métropolitaine

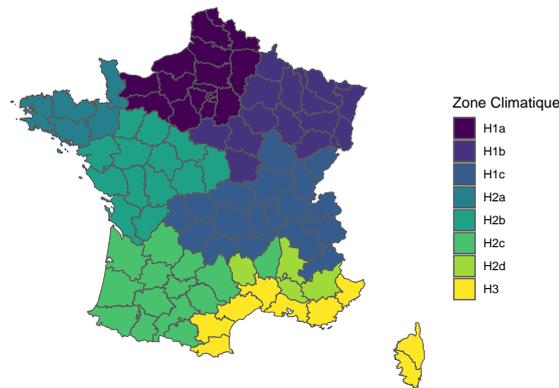


FIGURE 9 – Cartes des zones climatiques en France métropolitaine

B Evaluation de la robustesse de la méthode d'estimation

B.1 Robustesse : Modèle de Callaway et Sant'Anna avec les *not yet treated* comme groupe de contrôle

Cette partie présente les résultats de l'estimation du modèle principal en ne prenant en compte dans les groupes de traitement et de contrôle que les logements ayant été rénovés en bénéficiant d'une aide. Le groupe de contrôle est alors constitué des ménages traités mais n'ayant pas encore réalisé les travaux de rénovation. Cela permet d'une part de ne plus être dépendant des différences de caractéristiques inobservables entre les ménages et les logements traités ou non traités. D'autre part, en utilisant comme groupe de contrôle les logements n'ayant pas encore effectué de rénovation aidée, il est crédible de supposer que ces derniers n'ont pas réalisé de travaux de rénovation non aidés sur la période. Les résultats de l'estimation sont disponibles dans la table 7 et la figure 10. Ils sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus en estimant sur l'ensemble des données, ce qui confirme la validité de nos estimations principales.

Énergie de chauffage	ATT	Ec. Type	Intervalle de confiance
Gaz	-9.415	0.782	[-10.9,-7.9]*
Electricité	-5.370	0.411	[-6.2,-4.6]*

TABLE 7 – Effets agrégés de l'isolation selon le type d'énergie de chauffage - Méthode de CALLAWAY et SANT'ANNA (2021) avec les ménages « pas encore traités » comme groupe de contrôle

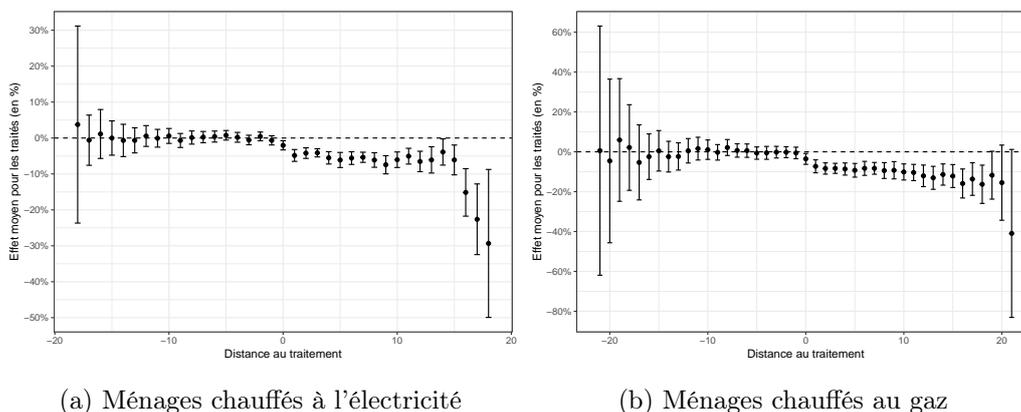


FIGURE 10 – Effet moyen du traitement sur les traités selon la distance au traitement.

B.2 Robustesse : Estimation par TWFE classique

Cette partie présente les résultats de l'estimation de l'effet de la rénovation en utilisant le modèle à doubles effets fixes. Cette approche ne prend pas en compte l'hétéro-

généité dans les dates de traitement et peut donc introduire des biais dans l'estimation, en particulier dans celle des effets pour une certaine distance du traitement. Les résultats sont donnés dans la figure 11 et la table 8. L'estimation de l'effet moyen du traitement sur les traités est ici encore du même ordre de grandeur que celle obtenue par le modèle principal. Néanmoins, une légère pré-tendance est observée pour les ménages chauffés au gaz. Cette pré-tendance peut introduire un biais dans l'estimation par une approche à doubles effets fixes.

Variable dépendante :	log-consommation de gaz (kWh)	log-consommation d'électricité (kWh)
	(1)	(2)
<i>Variables</i>		
DJU	-0.0006*** (2.35×10^{-5})	0.0007*** (1.38×10^{-5})
Traitement	-0.0923*** (0.0055)	-0.0539*** (0.0031)
Niveau de vie	-8.22×10^{-8} (1.22×10^{-7})	$3.42 \times 10^{-7***}$ (8.62×10^{-8})
Surface du logement	0.0009*** (0.0003)	0.0011*** (0.0003)
<i>Effet fixe</i>		
Logement	Yes	Yes
Trimestre	Yes	Yes
<i>Statistiques</i>		
Observations	939,704	739,995
R ²	0.84557	0.83026
Within R ²	0.00423	0.02670

Clustered (Logement) standard-errors in parentheses

*Signif. Codes : *** : 0.01, ** : 0.05, * : 0.1*

TABLE 8 – Résultats de l'estimation du modèle à doubles effets fixes.

B.3 Robustesse : Estimation par l'approche de SUN et ABRAHAM, 2021

Il existe différentes approches pour l'estimation des modèles de différence de différences avec des dates hétérogènes de traitement. Bien que l'approche de CALLAWAY et SANT'ANNA (2021) semble la plus adaptée ici car elle permet notamment l'utilisation de variables de contrôle, il semble important de s'assurer que les résultats ne sont pas dépendants de la méthode choisie. Pour cela nous estimons l'effet moyen du traitement pour les

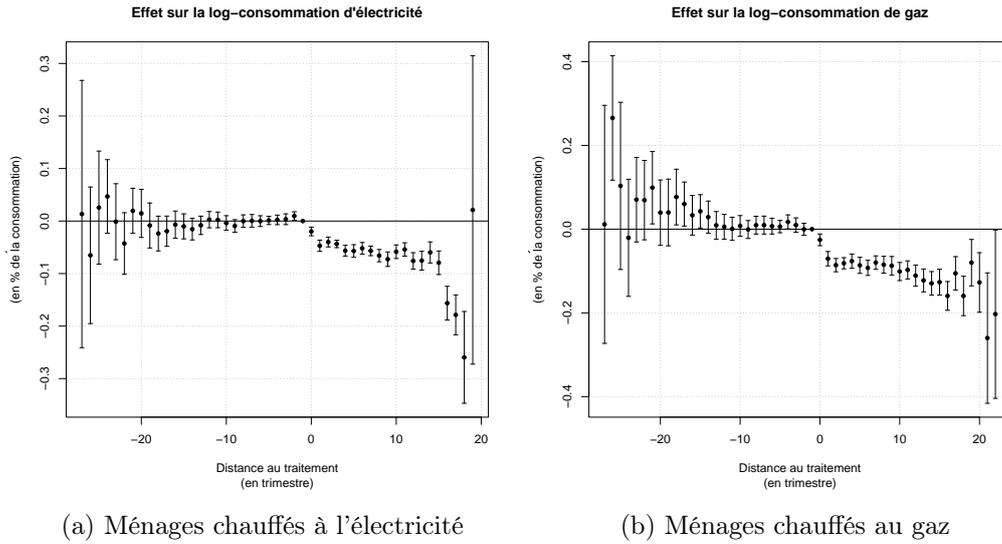


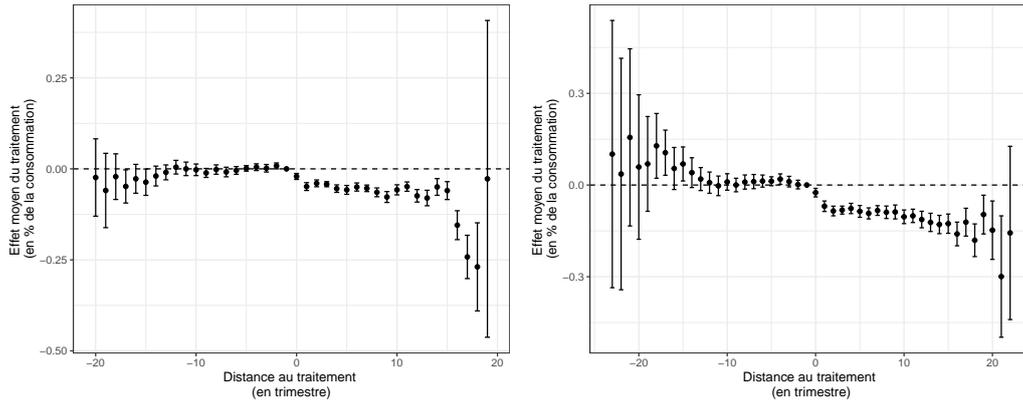
FIGURE 11 – Effet moyen du traitement sur les traités selon la distance au traitement, TWFE classique.

traités à l'aide de l'approche de SUN et ABRAHAM (2021). Dans cette méthode, la définition des cohortes et leurs agrégations est légèrement différente (voir de CHAISEMARTIN & D'HAULTFOEUILLE, 2021, pour plus de détails).

Les effets moyens du traitement sur les traités et les effets mesurés selon la distance au traitement sont du même ordre de grandeur avec la méthode de SUN et ABRAHAM (2021) par rapport à ceux de la méthode de CALLAWAY et SANT'ANNA (2021), pour les ménages chauffés à l'électricité et pour ceux chauffés au gaz. Pour les ménages chauffés au gaz, il semble y avoir une légère pré-tendance (c'est-à-dire que les différences de consommation entre groupes traité et contrôle ne sont pas toujours nulles avant la date des travaux) qui n'apparaît pas dans la méthode d'estimation de CALLAWAY et SANT'ANNA (2021) (figure 12). Cela peut venir du fait que le groupe de contrôle et le groupe de traités ont des caractéristiques différentes qui ne peuvent pas être prises en compte dans le modèle de SUN et ABRAHAM (2021).

Énergie de chauffage du ménage	ATT	Ec. type	t-value	Pr(> t)
Électricité	-0.054	0.004	-12.761	0
Gaz	-0.091	0.007	-12.979	0

TABLE 9 – Effets moyens du traitement sur les traités estimés par la méthode de SUN et ABRAHAM, 2021.



(a) Ménages chauffés à l'électricité

(b) Ménages chauffés au gaz

FIGURE 12 – Effets moyens du traitement sur les traités selon la distance au traitement estimés par la méthode de SUN et ABRAHAM, 2021

C Comparaison des gains et montant des travaux

Pour les ménages ayant bénéficié de MaPrimeRénov' pour la réalisation de travaux d'isolation, nous disposons du montant des travaux réalisés. Ainsi, il est possible de mettre en regard le montant des travaux avec la réduction de facture pour ces ménages. Les résultats sont donnés dans la table 10. La présence d'un mécanisme de subvention est susceptible d'influencer les comportements des agents économiques, en induisant notamment une hausse des prix des travaux. Bien que l'existence d'effets inflationnistes liés à ces subventions n'a pas été démontrée, cette comparaison entre les économies effectivement réalisées et le coût initial de l'investissement doit être interprétée avec prudence.

Energie	Gain moyen annuel sur facture (ATT)	Gains conventionnels moyens	Montant moyen des travaux	Reste à charge moyen
Gaz	150*** (27.5)	240	13 700	8 500
Electricité	120*** (53.8)	500	14 300	9 300

TABLE 10 – Gains annuels sur la facture, gains conventionnels évalués sur la facture, montant des travaux et reste à charge pour l’isolation, uniquement pour les travaux ayant bénéficié de MPR (en euros)

Note : Les gains conventionnels sur la facture sont calculés en multipliant les gains conventionnels en énergie par le prix moyen de l’énergie pour le ménage sur la période après travaux.

*** : significatif au seuil de 5 %

D Restriction de l’échantillon

La figure 13 illustre les différentes étapes de sélection appliquées à l’échantillon initial. Les ménages pour lesquels aucun dossier d’aide à la rénovation n’a été identifié sont considérés comme n’ayant pas entrepris de travaux de rénovation énergétique ; ils constituent ainsi le groupe de contrôle. Les ménages ayant bénéficié du dispositif CITE sont exclus du groupe des traités, en raison de l’absence d’information sur la date de fin des travaux. Pour les dispositifs MPR et CEE, seuls les ménages ayant réalisé exclusivement des gestes d’isolation de manière simultanée sont conservés dans le groupe des traités.

Les dispositifs MPR et CEE ciblent des types de travaux différents. La figure 14 présente les critères de sélection appliqués au sein du groupe des ménages traités, en distinguant les deux dispositifs. Il apparaît que, dans le cas du dispositif MPR, les gestes d’isolation représentent une minorité des interventions sur la période étudiée. Par ailleurs, environ la moitié des ménages bénéficiaires de MPR ayant effectué des gestes d’isolation les ont réalisés de manière échelonnée au cours de la période.

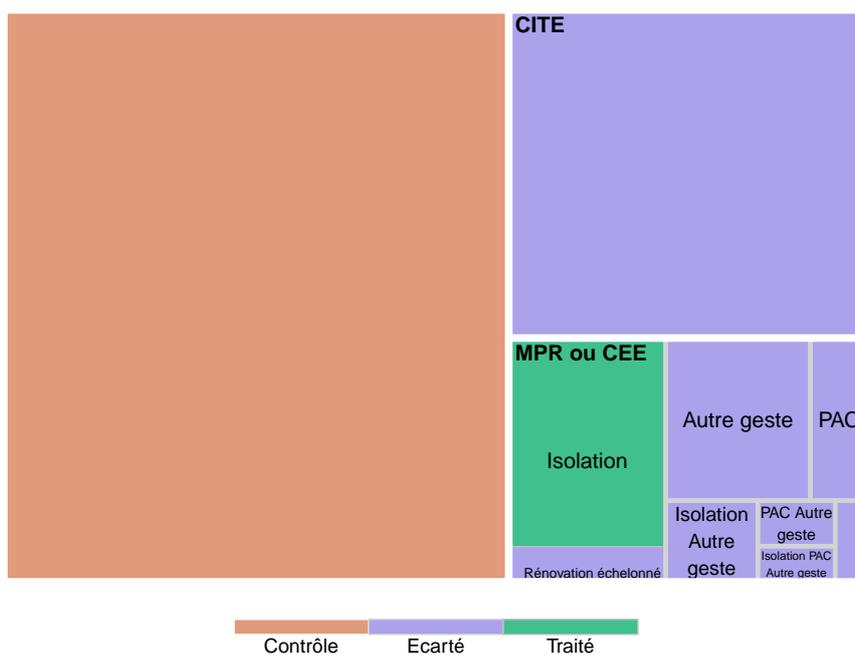


FIGURE 13 – Représentation des restrictions appliquées à l'échantillon initial.
Sources : Données de consommation Gazpar et Linky, fichiers d'aide à la rénovation.

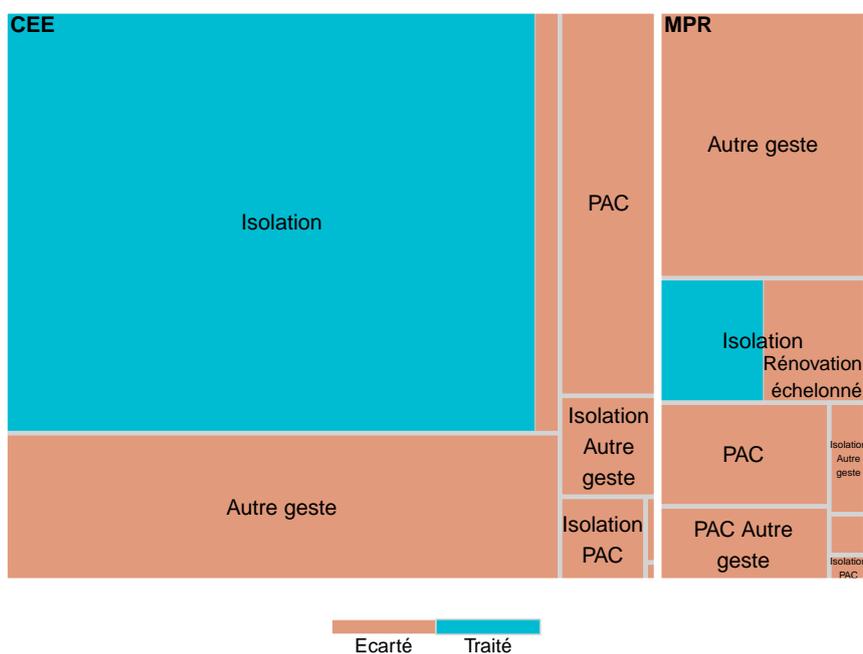


FIGURE 14 – Représentation des restrictions appliquées à l'échantillon pour le groupe des traités uniquement.
Sources : Données de consommation Gazpar et Linky, fichiers d'aide à la rénovation.

Liste des documents de travail récents de la Direction des Études et Synthèses Économiques*

- 2025/02 A. BOURGEOIS, J. MONTORNES
Made In France et réindustrialisation :
une approche par les tableaux
entrées-sorties internationaux
- 2025/03 F. BOCCARA
Multinationales, balance commerciale
et tissu productif (France 2000-2015)
- 2025/04 M. ANDRÉ, O. MESLIN
Le bonheur est dans le prix :
Estimation du patrimoine immobilier
brut des ménages sur données
administratives exhaustives
- 2025/05 P. ASKENAZY, A. BOURGEOIS
Vers une meilleure prise en compte de
l'hébergement via des plates-formes
en ligne au sein des comptes
nationaux
- 2025/06 C. LE THI, K. MILLOCK, J. SIXOU
Flood and residential mobility in
France
- 2025/07 C. ALAIS, S. SCOTT
Ralentissement de la productivité et
démographie des entreprises : quel
lien ?
- 2025/08 D. BLANCHET, M. CHABAUD, T.
OLIVIA, J. RUBIN
Quels effets budgétaires et
redistributifs des règles d'indexation
des retraites ?
- 2025/09 P. ASKENAZY, U. DI NALLO, I.
RAMAJO, C. THIOUN
Teleworking in the French private
sector: a lasting but heterogenous
shift shaped by collective agreements
(2019-2024)
- 2025/10 C. LABROUSSE, Y. PERDEREAU
Balance sheet policies and Central
Bank losses in a HANK model

* L'ensemble des documents est disponible sur le site [Insee.fr](https://www.insee.fr) et sur [Repec](https://www.repec.org).