

Évaluation des coûts et des bénéfices pour la santé de la rénovation énergétique en France

VÉRONIQUE EZRATTY¹

DAVID ORMANDY²

MARIE-HÉLÈNE LAURENT³

FABIENNE BOUTIÈRE³

ANNE DUBURCQ⁴

LAURÈNE COUROUVE⁴

PIERRE-ANDRÉ CABANES¹

¹ Service des études médicales d'EDF

45, rue Kleber
92309 Levallois-Perret
France

<veronique.ezratty@edf.fr>
<pierre-andre.cabanes@edf.fr>

² Warwick Medical School
University of Warwick
Coventry CV4 7AL
Royaume-Uni

<david.ormandy@warwick.ac.uk>

³ EDF R&D

Département TREE
Avenue des Renardières
77818 Ecuelles
Moret sur Loing
France

<marie-helene.laurent@edf.fr>
<fabienne.boutiere@edf.fr>

⁴ Cemka-Eval

43, boulevard du Maréchal
Joffre
92340 Bourg-la-Reine
France

<anne.duburcq@cemka.fr>
<laurene.courouve@cemka.fr>

Tirés à part :

V. Ezratty

Résumé. La santé est un enjeu important mais encore peu évalué des programmes de rénovation énergétique. Cette étude a pour objectif d'évaluer si le coût investi dans la rénovation des logements thermiquement inefficaces en France peut être compensé par des économies en dépenses de santé.

Ce travail s'appuie sur une méthodologie anglaise basée sur le « *Housing Health and Safety Rating System* » (HHSRS) utilisé pour identifier les logements présentant un risque pour la santé. Le croisement, possible en Angleterre, des données sur l'habitat et des données objectives de santé a permis d'estimer la probabilité de survenue d'effets délétères pour la santé en fonction du risque d'exposition à des températures intérieures trop basses, puis de calculer les coûts médicaux correspondants. À partir des données de l'enquête nationale française Phébus et de l'approche anglaise d'évaluation de la performance énergétique des logements, 3,5 millions de résidences principales, soit 13 % du parc français, ont été considérées inefficaces au plan thermique. Après adaptation au contexte français, les dépenses de santé liées à l'inefficacité énergétique des logements ont été estimées et comparées aux coûts de rénovation. Les résultats suggèrent que l'investissement dans un programme de rénovation énergétique adapté permettrait de générer des économies pour le système de santé d'autant plus importantes que les revenus des ménages sont faibles. Pour les ménages modestes, les coûts médicaux évités seraient du même ordre que les coûts de rénovation.

Mots clés : habitat ; températures basses ; coûts liés aux soins de santé ; coûts et bénéfices.

Abstract

Assessment of the health-related costs and benefits of upgrading energy efficiency in French housing

Health is an important but inadequately assessed aspect of programs to renovate home energy efficiency. This study sought to determine if savings in healthcare costs might balance investments in the thermal renovation of energy-inefficient homes.

This work is based on the "Housing Health and Safety Rating System (HHSRS)", a methodology developed in England and used to identify homes where energy inefficiency puts inhabitants' health at risk. It is possible to cross housing and health data in England and accordingly to estimate the probability of harmful health effects according to the risk of exposure to cold indoor temperatures and then calculate the corresponding medical costs. Applying this approach to the assessment of housing energy performance with data from the French national Phébus study shows that 3.5 million primary residences, or 13% of the French housing stock, are energy-inefficient from a thermal perspective. After adaptation to the French context, the healthcare costs associated with this residential energy inefficiency were estimated and compared with renovation costs. The results suggest that investment in an appropriate energy renovation program could generate economies for the healthcare system and that these savings would be highest for homes of households with the lowest incomes. Indeed, for low-

Pour citer cet article : Ezratty V, Ormandy D, Laurent MH, Boutière F, Duburcq A, Courouve L, Cabanes PA. Évaluation des coûts et des bénéfices pour la santé de la rénovation énergétique en France. *Environ Risque Sante* 2018 ; 17 : 401-410. doi : 10.1684/ers.2018.1200

income households, the medical costs avoided and the renovation costs incurred would be of the same order of magnitude.

Key words: housing; cold temperatures; healthcare-related costs; costs and benefits.

L'inefficacité énergétique des logements augmente le risque d'exposition à des températures intérieures trop basses qui peuvent avoir des effets délétères pour la santé de leurs occupants, en particulier pour leur santé cardio-respiratoire et mentale [1-3]. Ces effets sanitaires peuvent survenir pour des expositions de plus de 24 heures au-dessous de 18 °C, seuil inférieur de l'intervalle de confort thermique dans les logements recommandé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) [4].

Les mesures de rénovation énergétique des logements sont complexes à mettre en œuvre et leur coût élevé les rend inabordables pour la majorité des ménages, en particulier les plus précaires. De plus, les coûts de rénovation ne sont pas toujours rentabilisés par les économies d'énergie qui s'avèrent souvent inférieures à celles escomptées [5].

En Angleterre, un travail conduit par le *Building Research Establishment* (BRE) a montré qu'améliorer la performance énergétique des logements inefficaces était bénéfique pour la santé des résidents avec un rapport coûts-efficacité favorable [6, 7]. La méthodologie développée par le BRE pour évaluer ce bénéfice sanitaire s'est appuyée sur le *Housing Health and Safety Rating System* (HHSRS), méthode officielle d'évaluation des risques sanitaires liés aux conditions du logement utilisée dans les enquêtes nationales en Angleterre et au Pays de Galles (*English Housing Survey* [EHS]) [8].

Cette méthodologie basée sur le système HHSRS a également été utilisée à un niveau local par d'autres chercheurs pour réaliser des analyses coûts-bénéfices, comme, par exemple, à Londres [9] et à Sheffield [10]. Le projet Eurofound sur le coût du mal-logement dans 28 pays européens s'est également appuyé sur cette méthodologie [11].

D'autres travaux ont utilisé des approches différentes telles que la modélisation estimant les coûts médicaux de l'inefficacité énergétique réalisée sous les auspices du *National Institute for Health and Care Excellence* (NICE) en Angleterre [12] ou une évaluation de terrain avec intervention en Nouvelle-Zélande [13]. En France, l'initiative « Rénovons » a réalisé une évaluation des coûts et des bénéfices attendus d'un plan de rénovation des passoires énergétiques du parc privé à l'horizon 2025. Cette étude économique a montré que la rénovation énergétique des logements inefficaces sur le plan thermique permettrait de réaliser 758 millions d'euros d'économies annuelles pour le système de soins [14].

L'objectif du présent travail est d'estimer les coûts médicaux associés à l'inefficacité énergétique et à la précarité énergétique en France (en adaptant à la situation

française la méthodologie anglaise basée sur le HHSRS), et de les comparer aux coûts investis dans la rénovation thermique.

Cette étude a uniquement pris en compte les coûts médicaux directs associés au risque d'exposition à des températures intérieures basses. Les coûts médicaux attribuables aux effets potentiels sur la santé d'autres risques susceptibles d'être favorisés par des températures basses dans le logement, tels que l'humidité et les moisissures ainsi que les accidents domestiques, n'ont pas été pris en compte. En effet, d'autres facteurs que le froid excessif pouvant être à l'origine de ces risques, le périmètre de l'étude a été défini afin d'éviter ces facteurs de confusion. Par ailleurs, les coûts indirects potentiels pour la société comme ceux liés à l'absentéisme, au chômage, à l'impact négatif sur l'éducation ou aux aides à domicile, n'ont pas été inclus.

Matériel et méthodes

Nous avons donc utilisé la méthodologie basée sur le système HHSRS développé en Angleterre après adaptation au contexte français. Cette méthode et son adaptation ont été décrites en détail précédemment [15]. Seules quelques grandes lignes en seront rappelées.

Le HHSRS [16]

En 1996, le gouvernement britannique a chargé l'université de Warwick d'élaborer une nouvelle approche pour évaluer les conditions de logement [17]. Après 10 ans de développement, le HHSRS a été incorporé dans la législation en tant que méthode d'évaluation des risques sanitaires liés aux conditions de logement en Angleterre et au Pays de Galles [18, 19]. Le système HHSRS est la méthode officielle utilisée dans les enquêtes nationales annuelles sur le logement (EHS). Le système HHSRS a été adopté en 2010 par le Département du logement et du développement urbain des États-Unis (*US Department for Housing and Urban Development*) [20]. Le développement du HHSRS a impliqué plusieurs étapes :

- une revue approfondie de la littérature sur la relation entre habitat et santé qui a permis d'identifier 29 risques potentiels liés aux conditions du logement, parmi lesquels, l'exposition à des températures intérieures trop basses, seul risque considéré pour ce travail ;

– le croisement des données sur les conditions du logement avec les données de santé descriptives des résidents enregistrées dans une base de données spécifique, construite à partir des données du *National Health Service* (NHS), qui a permis de déterminer la relation entre les deux.

Les données sur les caractéristiques du logement ont été recueillies par des inspecteurs au cours de visites techniques durant trois années consécutives d'enquêtes nationales portant sur près de 40 000 logements. Ces données ont permis d'identifier les logements posant un risque jugé inacceptable pour la santé selon le système HHSRS.

Pour le risque d'exposition à des températures intérieures basses, c'est la procédure d'évaluation standard SAP (*Standard Assessment Procedure*), préconisée par le gouvernement britannique pour mesurer l'efficacité énergétique et le taux d'émission de carbone des logements, qui a été choisie comme critère d'évaluation [21]. Le gouvernement britannique a considéré qu'un SAP inférieur ou égal à 38¹ permettait d'identifier les logements ne protégeant pas suffisamment contre le risque d'exposition à des températures intérieures basses (risque HHSRS inacceptable) [22]. En effet, les températures intérieures ne sont généralement pas mesurées dans les enquêtes logement, en dehors de celle de 1991 sur un sous-échantillon de 16 % des logements.

Les données de santé ont été répertoriées à partir de plusieurs bases de données incluant les registres d'admission à l'hôpital et aux urgences et les consultations chez le médecin traitant. Le croisement entre données du logement et données sanitaires a été possible grâce à l'utilisation du système de code postal britannique². Ce croisement a permis d'estimer la probabilité de survenue d'un effet délétère sur la santé (« *likelihood* » exprimé en ratio) au cours des douze mois suivants, pour chacun des 29 risques identifiés. Pour le risque d'exposition à des températures intérieures trop basses, qui était un des 29 risques identifiés, la probabilité était de 1/18, ce qui signifie qu'un événement de santé était attendu dans les 12 mois pour 18 logements thermiquement inefficaces. Ce calcul est fondé sur la probabilité de survenue d'un événement de santé, pouvant être liée à l'exposition à des températures basses, chez des personnes vivant dans les habitations inefficaces au plan thermique (SAP \leq 38).

¹ Initialement, le seuil fixé par le BRE était SAP \leq 35. Le gouvernement anglais a décidé qu'il deviendrait SAP \leq 38 pour correspondre à la limite supérieure de la bande F de l'EPC (étiquette énergie anglaise).

² Au Royaume-Uni, chaque code postal englobe en moyenne 14 logements. Ces logements ont généralement des caractéristiques similaires, ayant été construits à la même époque. Un événement de santé ne peut être associé à une adresse exacte pour des raisons de confidentialité.

Une fois la probabilité de survenue d'un effet sanitaire délétère (*likelihood*) connue, il était nécessaire de caractériser cet événement qui pouvait aller d'un préjudice majeur avec décès à un préjudice modéré mais nécessitant au minimum une prise en charge médicale par un médecin traitant pour pouvoir être enregistré. Il a été décidé de répartir arbitrairement ces effets sanitaires en quatre classes en fonction de la sévérité du préjudice, ce qui permettait de pouvoir comparer des effets différents. Pour le risque d'exposition à des températures intérieures trop basses, ces effets vont du décès par infarctus du myocarde dans la classe I (impact extrême) à une affection de l'appareil respiratoire requérant une consultation médicale sans hospitalisation dans la classe IV (impact modéré) (tableau 1). Cette répartition selon la sévérité est présentée sous forme de pourcentage (ce paramètre est appelé « *spread of harms* ») qui permet de représenter laquelle des quatre classes serait la plus susceptible de survenir. Des analyses supplémentaires des données de santé ont été ultérieurement réalisées par la *London School of Hygiene & Tropical Medicine* (LSHTM) pour consolider la construction de ces « *spread of harms* » [23]. Les résultats ont montré en particulier que l'année de construction des logements était déterminante pour la surmortalité hivernale avec une différence significative entre les logements construits avant 1980 et ceux plus récents où la surmortalité hivernale était plus faible. Cette différence de risque était attribuable à l'inefficacité énergétique du logement.

Pour notre étude, les données de répartition initiales dans chaque classe de sévérité (*spread of harms*) initialement obtenues de 1996-1997 à 1999-2000 ont été adaptées pour tenir compte de la diminution importante de la mortalité par infarctus du myocarde observée depuis 15 ans [24] (tableau 1).

Le NHS disposant des coûts de diagnostic et de traitement des maladies et des accidents, il était possible d'estimer le coût médical correspondant à chaque risque et de calculer les coûts médicaux liés au mallogement.

L'enquête logement EHS comprend également des estimations du coût des travaux visant à éliminer ou réduire les risques, ce qui a permis d'estimer les coûts-bénéfices de la rénovation [6, 7]. C'est cette approche développée par le BRE qui a inspiré ce projet.

Adaptation au contexte français

Il semble raisonnable de supposer que les personnes vivant en France, exposées à des températures intérieures basses dans leur logement, connaîtront le même inconfort thermique et les mêmes conséquences sur leur santé que celles vivant en Angleterre. Les méthodes d'évaluation de la performance énergétique utilisées en France et au Royaume-Uni ont été détaillées ailleurs et seules leurs

Tableau 1. Fréquences de répartition des effets selon leur sévérité (*spread of harms*) adaptées pour la France.

Table 1. Frequency of spread of harms by severity, adapted for France.

Classe de sévérité du préjudice	Effet sanitaire (représentatif)	Répartition selon la sévérité Angleterre (pre-2000)	Répartition selon la sévérité France (actualisé*)
Classe I Extrême	Infarctus du myocarde ayant conduit au décès dans les 12 mois	34 %	3 %
Classe II Sévère	Infarctus du myocarde sans décès dans les 12 mois*	6 %	17 %
Classe III Sérieux	Infection bronchique sévère (hospitalisation)	18 %	30 %
Classe IV Modéré	Pneumonie traitée en ville	42 %	50 %

*Le pronostic de l'infarctus du myocarde s'est amélioré et la mortalité a fortement baissé depuis 20 ans [24]. Environ encore 10 % des victimes d'un infarctus du myocarde décèdent dans l'heure qui suit et le taux de mortalité à un an reste de 15 %. Grâce aux progrès thérapeutiques, à la vitesse d'intervention du Samu et à la disponibilité accrue d'unités de cardiologie interventionnelles opérationnelles 7j/7 et 24h/24, la mortalité relative à 30 jours a chuté de 68 % au cours des 20 dernières années.

différences permettant de comprendre l'approche adoptée dans l'étude seront soulignées (tableau 2).

Au Royaume-Uni, cette évaluation, réalisée dans les enquêtes logement au moyen du calcul du SAP, quantifie les performances en termes de consommations théoriques en énergie finale par unité de surface de plancher pour donner une note sur une échelle de 0 (très inefficace) à 100 (extrêmement efficace). En France, la mesure de la performance énergétique repose sur le calcul du diagnostic de performance énergétique (DPE) qui correspond aux consommations théoriques en énergie primaire pour trois usages : chauffage, eau chaude sanitaire et climatisation [25]. La première tâche de ce travail a consisté à faire correspondre le SAP anglais et le DPE. Pour opérer, nous avons développé un indicateur de performance énergétique pour la France, inspiré de l'indicateur utilisé en Angleterre, tenant compte de l'énergie finale portant sur cinq usages (chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage, climatisation et ventilation mécanique). Ce travail a été réalisé en plusieurs étapes. Premièrement, la consommation théorique de chauffage a été ajustée pour prendre en compte l'écart de températures entre l'intérieur et l'extérieur

pendant la saison de chauffage, dans le département où est situé le logement, *versus* la valeur moyenne nationale (température moyenne sur 30 ans en degrés Celsius, méthode 3CL-DPE v1.3, données du Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie [CEREN]). Ensuite, la consommation des utilisations finales supplémentaires pour l'éclairage, la climatisation et la ventilation mécanique ont été calculées et incorporées. Enfin, une échelle de 0 à 100 a été adoptée et inversée de sorte que plus le nombre était grand, plus la performance énergétique était élevée. Pour éviter toute confusion, le terme indice de performance énergétique du logement (IPEL), correspondant à un SAP français, a été choisi. Un IPEL de 38 a été retenu comme seuil au-dessous duquel les logements étaient considérés inefficaces au plan thermique et, après analyse de sensibilité, il s'est avéré approprié. Cela a permis d'adopter l'équivalent d'un SAP 38 comme seuil permettant d'identifier les logements inefficaces en France, c'est-à-dire ceux qui offrent une protection insuffisante contre l'exposition à des températures intérieures basses.

L'étude a utilisé les données issues de l'enquête Phébus (Performance de l'habitat, équipements, besoins

Tableau 2. Comparaison des indicateurs de performance énergétique anglais et français.

Table 2. Comparison of the French and English indicators of energy performance.

Indicateurs de performance énergétique		
	Anglais	Français
Stade énergétique	Final	Primaire
Présentation	Valeur relative inversée : 1 à 100 (très inefficace à efficace)	Valeur absolue : < 50 kWhep/m ² → > 450 kWhep/m ²
Usages	5 usages : chauffage, ECS, climatisation, éclairage, VMC	3 usages : chauffage, ECS, climatisation
Météo	Nationale	Locale

ECS : eau chaude sanitaire ; VMC : ventilation mécanique contrôlée.

et usage de l'énergie)³, portant sur un échantillon représentatif du parc 2012 de résidences principales en France métropolitaine, soit 28 millions de logements [26]. Les analyses ont porté sur 26,3 millions de logements car, dans 6 % des cas, les données étaient incohérentes ou incomplètes et n'ont pu être exploitées. Les ménages considérés en situation de précarité énergétique étaient ceux dont le revenu par unité de consommation était compris dans les trois premiers déciles⁴ et qui occupaient un logement thermiquement inefficace. Le seuil de pauvreté utilisé était celui fixé par la Commission européenne, soit un revenu de moins de 60 % du revenu médian des ménages [27]. À partir de la base de données de l'enquête Phébus, 3,5 millions (13 %) des résidences principales ayant un IPEL égal ou inférieur à 38 ont été considérés inefficaces sur le plan thermique et ne protégeant pas les résidents d'une exposition à des températures intérieures basses (risque inacceptable pour la santé selon l'HHSRS). Parmi les occupants de ces logements inefficaces, les ménages à faible revenu sont potentiellement les plus à risque car ils n'auront pas forcément les moyens de chauffer leur logement à des températures satisfaisantes pour protéger leur santé. Les ménages plus aisés disposeront, du moins théoriquement, de moyens suffisants pour préserver leur confort thermique (tout en gaspillant de l'énergie) même si leur logement constitue une menace potentielle pour leur santé, et ce d'autant plus s'ils sont âgés de plus de 65 ans [28, 29]. Cette hypothèse a conduit à extrapoler différentes probabilités de survenue d'un effet sanitaire délétère (*likelihood*) pour trois situations de revenu différentes (tableau 3).

Les coûts médicaux directs utilisés sont ceux obtenus à partir des bases de données de l'assurance maladie [30, 31] (tableau 4).

³ Phébus est une enquête nationale sur le logement et l'énergie réalisée en 2013 par le ministère de l'Environnement (METDD) figurant au programme des enquêtes du Conseil national de l'information statistique (Cnis). En plus des entretiens avec les résidents de 5 405 logements représentatifs de ceux de la métropole (28 millions de résidences principales en 2012), des informations ont été recueillies sur les équipements énergétiques et le comportement des résidents. Des données sur la performance énergétique théorique (DPE) ont été collectées sur un sous-échantillon de 2 389 logements. Phébus comprend également des précisions sur la satisfaction subjective à l'égard du chauffage.

⁴ Les données sur les revenus sont souvent présentées par tranches de 10 % de ménages ou d'individus, que les statisticiens nomment « déciles ». Le décile ne désigne pas la tranche dans son ensemble mais la valeur qui sépare une tranche de 10 % d'une autre. Le premier des déciles des revenus sépare donc les 10 % qui gagnent le moins des 90 % qui touchent le plus. Le deuxième décile est le niveau de revenus pour lequel 20 % touchent moins et 80 % touchent plus. Le troisième décile est le niveau de revenu pour lequel 30 % touchent moins et 70 % touchent plus.

Tableau 3. Estimation de la probabilité de survenue d'un effet délétère pour la santé (*likelihood*) lié à l'inefficacité énergétique du logement.

Table 3. Estimate of the likelihood of an adverse health effect associated with residential energy inefficiency.

Pour tous les logements inefficaces au plan thermique (IPEL ≤ 38)		<i>Likelihood</i> 1 / 18
Situation	Description	<i>Likelihood</i>
1	Logements inefficaces occupés par des ménages avec un revenu sous le seuil de pauvreté	1 / 4
2	Logements inefficaces occupés par des ménages avec un revenu compris dans les déciles 1, 2 ou 3 mais au-dessus du seuil de pauvreté	1 / 20
3	Logements inefficaces occupés par des ménages avec un revenu compris dans les déciles 4 à 10	1 / 320

L'évaluation du coût de la rénovation des logements inefficaces au plan thermique a été réalisée par une équipe de la R&D d'EDF et a été détaillée ailleurs [32, 33]. Cette étape a consisté à calculer le coût de la transformation des logements inefficaces thermiquement (IPEL ≤ 38) en logements aussi performants que le parc résidentiel moyen en France (IPEL ≥ 63,5). Ce passage d'un IPEL ≤ 38 à un IPEL ≥ 63,5 correspond à une baisse de 56 % des consommations finales normatives (théoriques) sur les cinq usages conventionnels. Trois scénarios de rénovation énergétique ont été considérés :

- le scénario 1 consistait en un renouvellement des équipements de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS) en gardant la même énergie et en intégrant des gestes d'isolation thermique sur le bâti ;
- le scénario 2 généralisait les pompes à chaleur avec un complément bâti si nécessaire (rare) ;
- le scénario 3 favorisait les deux énergies principales de chauffage (gaz et électricité) et intégrait des compléments bâti. Le programme de rénovation du scénario 3 a été considéré comme le plus favorable. Il conduit à un niveau de performance de 210 kWh énergie finale/(m².an), soit un IPEL de 73 après rénovation. Il correspond à un investissement de 47 milliards d'euros à l'échelle du parc analysé.

Cet investissement a été considéré comme réalisé intégralement la première année du programme et n'a donc pas été soumis à un taux d'actualisation. Les coûts de santé évités interviennent chaque année à partir de la seconde année et sur une période de 22 ans pour un montant identique. L'étude adopte la perspective collectivité limitée aux coûts directs, quel que soit le taux de financement.

Des analyses de sensibilité portant sur les variations des différents paramètres et hypothèses précédemment décrits ont été réalisées selon les recommandations de la

Tableau 4. Estimation des coûts médicaux directs en France liés au risque d'exposition à des températures intérieures basses.

Table 4. Estimated direct medical costs in France associated with the risk of exposure to low indoor temperatures

Classe de sévérité	Effet sanitaire (représentatif)	Coûts moyens par pathologie (€)	Répartition selon la sévérité (%)	Coût pour le système de santé (€)
I (extrême)	Syndrome coronaire aigu ayant conduit au décès ^o	9 863*	3	296
II (sévère)	Syndrome coronaire aigu sans décès	13 850*	17	2 354
III (sérieux)	Infection sévère de l'appareil respiratoire (hospitalisation)	2 138**	30	641
IV (modéré)	Pneumonie traitée en ville	53***	50	26
Coût moyen « théorique » d'un effet				3 318

^o Durant ou après l'hospitalisation.

* Coût estimé à partir du PMSI des années 2007 à 2011, en comparant le coût de prise en charge sur l'année précédant le syndrome coronaire aigu au coût sur l'année suivant l'hospitalisation pour les patients ayant survécu. Coût moyen d'une hospitalisation pour ce motif : 5 876 € (y compris si décès lors du séjour) ; coût de l'année suivant à la sortie de l'hôpital : 7 974 €. Pour les patients décédés dans l'année, hypothèse d'un coût de prise en charge l'année suivante divisé par 2 (soit 3 987 €). Coût pour la classe I de 5876 € + 3 987 € ; pour la classe II de 5876 € + 7 974 €. Analyse réalisée dans une perspective sociétale réduite aux coûts médicaux directs [30].

** Analyse du PMSI 2013 prenant en compte deux groupes homogènes de malades (GMH) (« pneumonie et pleurésie, niveau de sévérité 1 » [GHM 04M051] et « bronchite et asthme, niveau de sévérité 1 » [GHM 04M031]). Pondération de 50 % pour chaque GHM et valorisation avec l'étude nationale de coûts à méthodologie commune 2013 (ENCC).

** Estimé sur la base de deux visites chez le médecin généraliste et une prescription d'antibiotiques (estimation de « occasional mild pneumonia » considéré dans le modèle anglais : pneumonie légère chez des patients < 65 ans et sans comorbidités).

Haute Autorité de santé (HAS) [34]. Les variations testées sur chacun des paramètres sont présentées dans le *tableau 5*. Pour chaque population étudiée, l'analyse de sensibilité univariée a été décrite au moyen d'un diagramme de Tornado. L'analyse probabiliste multivariée

(*Probabilistic Sensitivity Analysis*) a pris en compte de façon simultanée les variations de tous les paramètres, en utilisant une distribution bêta pour l'IPEL et pour la proportion de logements en dessous du seuil de pauvreté parmi les logements occupés par les ménages modestes et une distribution normale pour les autres paramètres du modèle. Elle a produit une estimation du coût basée sur 1 000 simulations.

Tableau 5. Variations testées dans les analyses de sensibilité sur l'estimation globale des coûts médicaux annuels.

Table 5. Variations tested in the sensitivity analyses of the global estimates of annual medical costs.

Paramètres inclus dans les analyses de sensibilité	Variations évaluées
IPEL (seuil défini pour identifier les logements thermiquement inefficaces)	32 à 43
Proportion de logements sous le seuil de pauvreté parmi les logements thermiquement inefficaces occupés par les ménages modestes	40 % à 52 %
Estimation des coûts médicaux directs pour les quatre classes de sévérité	-20 % à + 20 % (pour tous les coûts)
Répartition des classes III et IV des « spread of harms »	20 % à 60 % pour la classe III (complément à 80 % pour la classe IV)
Probabilités estimées de survenue d'un effet délétère pour la santé lié à l'inefficacité énergétique du logement (<i>likelihood</i>)	-15 % à + 15 %

IPEL : indice de performance énergétique du logement.

Résultats

Coûts médicaux liés à l'inefficacité énergétique des logements

Le coût moyen de prise en charge médicale d'un effet sanitaire délétère représentatif a été estimé à partir de la base PMSI (programme de médicalisation des systèmes d'information) pour chacune des quatre classes de sévérité. Sur la base de la fréquence de répartition dans chaque classe de sévérité (*spread of harms*), le coût médical « théorique » moyen d'un effet a été estimé à 3 318 euros (*tableau 4*). La probabilité de survenue d'un effet sanitaire délétère dans les 12 mois étant de 1 sur 18 logements inefficaces (*likelihood*), le coût annuel pour le système de santé français attribuable à la totalité des logements inefficaces, c'est-à-dire aux 3 467 835 logements ayant un IPEL ≤ 38 , est estimé à 639 millions d'euros. Des calculs similaires ont permis d'estimer le coût annuel pour des niveaux de revenus différents (*tableau 6*). Pour les 1 284 267 logements inefficaces occupés par les ménages ayant un revenu par unité de consommation (UC) compris dans les

Tableau 6. Comparaison des coûts de rénovation thermique avec les coûts médicaux annuels.

Table 6. Comparison of the costs of upgrading residential energy efficiency and annual medical costs.

Coûts estimés	Tous les logements inefficaces (IPEL ≤ 38) n = 3 467 835	Logements inefficaces occupés par les ménages modestes (déciles 1, 2, 3) n = 1 284 267	Logements inefficaces occupés par les ménages sous le seuil de pauvreté n = 608 069
Coûts de rénovation (investissement 1 ^{re} année)	47 milliards €	15 milliards €	6,5 milliards €
Avant rénovation			
Coûts annuels médicaux	639 millions €	617 millions €	504 millions €
Après rénovation			
Coûts médicaux annuels	5 millions €	1,9 millions €	0,9 millions €
Coûts annuels évités pour le système de santé	634 millions €	615 millions €	503 millions €

déciles 1, 2 ou 3, le coût médical annuel est estimé à 617 millions d'euros. Pour les 608 069 logements inefficaces occupés par les ménages ayant un revenu par UC sous le seuil de pauvreté, le coût médical annuel est estimé à 504 millions d'euros.

Analyse de sensibilité

Les analyses de sensibilité conduisent à des estimations très proches de celles issues du modèle principal élaboré. Sur les 3 467 835 logements inefficaces (IPEL ≤ 38), l'analyse de sensibilité montre que ni les variations des coûts médicaux, ni la répartition en quatre classes de sévérité, ni le seuil retenu pour l'IPEL, ni la distribution des « *spread of harms* » ne modifient significativement l'estimation globale du coût médical. Par exemple, un IPEL à 32 (borne basse) entraîne un coût annuel médical de 524 millions d'euros ; à l'inverse, un IPEL à 43 (borne haute) entraîne un coût annuel médical de 709 millions d'euros. L'analyse probabiliste multivariée basée sur 1 000 simulations a conduit à estimer le coût médical annuel à 611 millions d'euros (écart-type 93 millions avec le modèle principal). Le même type d'analyse probabiliste réalisée sur les 1 284 267 logements inefficaces occupés par les ménages ayant un revenu par UC dans les déciles 1 à 3 a conduit à une estimation du coût médical annuel s'élevant à 588 millions d'euros (écart-type 92 millions).

Sur les 608 069 logements inefficaces occupés par les ménages ayant un revenu par UC sous le seuil de pauvreté, le coût médical annuel estimé est de 476 millions d'euros (écart-type 80 millions).

Comparaison des coûts de rénovation énergétique aux coûts médicaux annuels des logements inefficaces au plan thermique

Cette comparaison a pu être réalisée après :

- annualisation sans actualisation du coût d'investissement dans des mesures d'amélioration de la performance énergétique des logements inefficaces en fonction de la durée de vie potentielle de chaque mesure (de 15 ans pour un changement du système de chauffage à 30 ans pour une isolation du toit) (*tableau 7*). L'investissement initial de 47 milliards d'euros à l'échelle du parc analysé correspond à un coût annualisé de 2 milliards d'euros par an sur 23 ans (durée de vie moyenne des gestes de rénovation effectués dans le scénario retenu) et à un prix moyen du pack rénovation de 13 400 euros par logement ;
- évaluation de la probabilité de survenue d'un événement de santé (*likelihood*) après rénovation en utilisant la « formule » du système HHSRS qui a montré que pour des logements rénovés (correspondant à un IPEL de 69-80) cette probabilité était de 1/2 250 [35]. Les coûts annuels de

Tableau 7. Durée de vie des mesures de rénovation énergétique.

Table 7. Lifetime of measurements of energy renovation.

Mesures de rénovation énergétique (7 gestes)	Durée de vie (années)	
Geste 1	Changement du système de chauffage à l'identique	15
Geste 2	Isolation des murs	30
Geste 3	Isolation de la toiture	30
Geste 4	Changement des fenêtres (double vitrage)	30
Geste 5	Isolation du plancher	30
Geste 6	VMC (ventilation mécanique contrôlée) hygro B	15
Geste 7	Remplacement du système de chauffage par une PAC (pompe à chaleur)	15

rénovation des logements inefficaces (IPEL ≤ 38) ont ainsi pu être comparés aux coûts annuels évités pour le système de santé, ce qui a permis de calculer les coûts-bénéfices (tableau 8).

Les résultats montrent que, pour un programme de rénovation ramenant la performance du logement au niveau moyen du parc français, les économies pour le système de santé sont d'autant plus importantes que le revenu des ménages occupant ces logements est bas. Pour les ménages modestes (revenu par UC dans les déciles 1, 2 ou 3), les coûts médicaux évités chaque année sont du même ordre que les coûts de rénovation annuels. Pour les logements occupés par des ménages sous le seuil de pauvreté, il existe un bénéfice et chaque euro investi dans la rénovation énergétique permet d'économiser 1,65 euro en dépenses de santé.

Discussion

Le secteur résidentiel représente plus de 30 % de la consommation énergétique finale de la France. C'est, avec les transports, le premier secteur consommateur d'énergie. Investir dans la rénovation énergétique des logements inefficaces est ainsi considéré comme une priorité politique et environnementale. La loi sur la transition énergétique et le Plan climat prévoient la rénovation de 500 000 logements par an pour obtenir la suppression des « passoires thermiques » dans les 10 ans.

Les données internationales disponibles, principalement anglaises et néo-zélandaises, suggèrent que le coût investi dans la rénovation énergétique pourrait être compensé par des économies en dépenses de santé. Les résultats obtenus par notre étude confirment que, comme en Angleterre, l'investissement dans un programme de rénovation énergétique permettrait de générer des économies pour le système de santé français. Ces résultats sont cohérents avec ceux de l'initiative « Rénovons » dont l'estimation des coûts évités pour le système de soins, réalisée avec une méthode différente, était de 758 millions d'euros par an. Notre travail a par

ailleurs montré de façon originale un bénéfice d'autant plus important que les revenus des ménages sont faibles. Cette étude montre la pertinence et l'importance de la monétarisation de la vulnérabilité énergétique.

La prise en charge médicale par la NHS est gratuite et les spécialistes considèrent que la vaste majorité des personnes vivant en Angleterre y auront recours, notamment pour des pathologies cardiovasculaires et respiratoires. Il est cependant possible qu'une minorité de personnes, en particulier les personnes en situation de précarité et/ou ayant une mauvaise santé mentale, n'aient pas recours à cette prise en charge, même si elle est gratuite. Il convient de souligner que cela aboutirait dans ce cas à une sous-estimation de la probabilité de survenue d'un effet sanitaire délétère et des coûts médicaux directs associés et donc à une meilleure rentabilité des travaux de rénovation thermique. Dans ce projet, les coûts de santé attribuables à d'autres facteurs de risque pour la santé liés à l'exposition à des températures trop basses dans le logement, comme l'humidité et la présence de moisissures ou le risque d'accident domestique, n'ont pu être inclus car Phébus n'évaluait pas ces paramètres. Les coûts associés à la mauvaise santé mentale n'ont pas été inclus, en partie parce que le système HHSRS a été élaboré lorsque les données s'y rapportant étaient limitées et qu'elles restent rares. Seuls les coûts médicaux directs ont été considérés. Les coûts liés aux conséquences sur l'emploi et l'éducation, pour lesquels un lien causal est plus difficile à établir et les données disponibles restent limitées [10], n'ont pas été pris en compte. Malgré cette approche « conservatrice », l'évaluation des coûts et des bénéfices attendus pour la santé contribue à justifier les politiques visant à rénover les logements inefficaces et ce, au-delà des bénéfices en termes de réduction de la facture énergétique, de la consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre, mais aussi de développement de l'emploi dans le bâtiment.

Dans ce type de démarche avec horizon temporel à moyen terme, la question de l'actualisation se pose. Le modèle adopte un schéma un peu théorique qui nécessitera d'être complété par d'autres modèles plus réalistes prenant en compte différents scénarios de

Tableau 8. Estimation des coûts et des bénéfices pour la santé de la rénovation énergétique en France.

Table 8. Estimated health-related costs and benefits of upgrading energy efficiency in French housing.

Nombre de logements inefficaces selon le revenu des ménages	Coûts de rénovation thermique en millions €/an	Coûts médicaux en millions €/an		Bénéfices pour 1 € investi en rénovation
		Avant rénovation	Après rénovation	
608 069 logements inefficaces occupés par des ménages sous le seuil de pauvreté	305	504	1	1,65 €
1 284 267 logements inefficaces occupés par des ménages modestes	713	617	2	0,90 €
3 467 835 logements inefficaces au total	2 000	639	5	0,30 €

rénovation et horizons temporels. L'analyse de sensibilité intégrant un taux d'actualisation des coûts médicaux évités de 3 % sur 22 ans montre les mêmes tendances, avec un bénéfice lorsque les logements inefficaces au plan thermique sont occupés par des ménages sous le seuil de pauvreté.

Pour ce travail, nous avons adapté la méthode basée sur le système HHSRS développé en Angleterre, qui a permis de faire correspondre les données sur les logements avec les données sur la santé, donnant une image réaliste du lien entre les dangers et les dommages. Le système HHSRS permet d'identifier les logements posant un risque potentiel pour la santé, ici les logements inefficaces au plan thermique, et incite à prendre des mesures qui profiteront aux occupants de façon durable, en particulier aux plus vulnérables. C'est le principe de cette approche anglaise centrée sur le logement, très différente de l'approche utilisée en France, et qui repose sur le fait que le logement est le seul facteur stable dans le temps contrairement aux facteurs humains éminemment variables (taux d'occupation, composition du ménage, activités des résidents, et déménagements). La méthodologie utilisée est validée, simple, compréhensible et transférable. Elle est largement acceptée en Angleterre et au Pays de Galles. Cependant, les détails et les hypothèses utilisés dans cette méthode n'ont pas été publiquement explicités jusqu'ici. Il a donc été décidé que toutes les étapes de ce projet seraient transparentes et toutes les hypothèses justifiées. Cette méthode britannique a été utilisée en l'absence de système similaire français. En France, les enquêtes nationales logement de l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) ne comportent pas de question sur la santé et les enquêtes santé, comme l'Enquête santé européenne EHIS-ESPS sur l'état de santé des Français, sont auto-déclaratives et ne comportent pas de données sur les conditions de logement. Il n'existe donc pas de sources nationales de données croisées sur la santé des résidents et leurs conditions de logement comme c'est le cas en Angleterre.

Pour ce travail, nous avons créé l'indice IPEL inspiré de l'approche anglaise qui reflète mieux l'efficacité énergétique du logement tandis que le DPE actuellement utilisé en France, exprimé en énergie primaire, ne mesure pas la

qualité intrinsèque du bâti et ne permet pas de détecter de façon optimale les « passoires énergétiques ». Dans cette étude, nous avons affiné l'analyse avec une étape supplémentaire permettant d'estimer ce qui pourrait se passer pour les occupants aux revenus modestes. L'hypothèse sous-jacente est que ce sont ceux qui seront le moins à même de chauffer leur logement à des températures suffisantes en période de froid qui seront les plus susceptibles d'avoir des problèmes de santé liés à ce risque.

Ce travail présente certaines limites. Il repose sur l'hypothèse, pour un même niveau d'inconfort thermique, qu'un Français aura le même risque pour sa santé, notamment cardiovasculaire et respiratoire, qu'un Anglais, ce qui est probable mais reste à démontrer. Le modèle utilisé ne repose pas directement sur la mesure de la température dans les logements mais sur le SAP qui évalue l'efficacité énergétique du logement. Le seuil de 38 pour l'PEL a été choisi arbitrairement mais les analyses de sensibilité montrent que des seuils allant de 32 à 43 modifient peu les résultats.

Cette étude a permis d'identifier, au moyen d'un nouvel indice, l'PEL inspiré de l'approche anglaise, les 3,5 millions de logements inefficaces du parc de résidences principales en France qui devraient bénéficier d'une rénovation énergétique. Elle montre que l'investissement dans un programme de rénovation énergétique adapté et ambitieux est non seulement justifié en termes de santé publique mais également rentable. Les résultats de cette étude confirment que la rénovation devrait cibler en priorité des groupes de logements non performants occupés par des ménages modestes et incitent à favoriser l'attribution d'aides financières aux ménages les plus pauvres pour rénover leur logement. ■

Remerciements et autres mentions

Les auteurs remercient particulièrement Jacques Lambrozo, Stéphanie Billot-Bonafant, Carole Lenchi, Bernard Stafford et Simon Nicol.

Financement : aucun ; **liens d'intérêts** : Véronique Ezratty, Marie-Hélène Laurent, Fabienne Boutière et Pierre-André Cabanes sont salariés d'EDF.

Références

1. Marmot review team. *The health impacts of cold homes and fuel poverty*. London : Friends of the Earth and the Marmot review team, 2011. https://friendsoftheearth.uk/sites/default/files/downloads/cold_homes_health.pdf
2. Ezratty V, Duburcq A, Emery C, Lambrozo J. Liens entre l'efficacité énergétique du logement et la santé des résidents : résultats de l'étude européenne LARES. *Environ Risque Sante* 2009 ; 8 (6) : 497-506.

3. Wookey R, Bone A, Carmichael C, Crossley A. *Minimum home temperature thresholds for health in winter – A systematic literature review*. London : Public Health England, 2014. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/468196/Min_temp_threshold_for_homes_in_winter.pdf
4. Ormandy D, Ezratty V. Health and thermal comfort: from WHO guidance to strategy. *Energy Policy* 2012 ; 49 : 116-21.

5. Bair S, Belaïd F, Teissier O. *Quels enseignements tirer de l'enquête Phébus sur la question de l'effet rebond ? Les ménages et la consommation d'énergie*. Paris : Le service de l'observation et des statistiques (SOeS) du ministère de la Transition écologique et solidaire (Théma), 2017. http://www.drihl.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/thema_sur_les_menages_et_la_consommation-425572.pdf
6. Davidson M, Roys M, Nicol S, Ormandy D, Ambrose P. *The real cost of poor housing*. Bracknell : HIS BRE Press, 2010.
7. Nicol S, Roys M, Garrett H. *Briefing paper. The cost of poor housing to the NHS*. Bracknell : IHS BRE Press, 2015.
8. *English housing survey headline report, 2016-17*. Ministry of Housing Communities & Local Government. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/675942/2016-17_EHS_Headline_Report.pdf
9. Ambrose A, Bashir N, Foden M, Gilbertson, Green G, Stafford B. *Better housing better health in London Lambeth, the Lambeth housing standard health impact assessment and cost benefit analysis*. Sheffield : Sheffield Hallam University, Centre for Regional Economic and Social Research, 2018. https://www.researchgate.net/publication/323856077_Better_Housing_Better_Health_in_London_Lambeth
10. Stafford B. The social cost of cold homes in an English city: developing a transferable policy tool. *J Publ Health* 2014 ; 37 : 251-7.
11. Ahrendt D, Dubois H, Jungblut JM, et al. *The cost of poor housing in the European Union*. Luxembourg : Publications Office of the European Union, Eurofound, 2016. http://www.bre.co.uk/filelibrary/Briefing%20papers/92993_BRE_Poor-Housing_in_Europe.pdf
12. Wilkinson P, Chalabi Z, Wilkinson P, et al. *Evidence review and economic analysis of excess winter deaths, for the National institute for health and care excellence (NICE) economic modelling report*. Londres : London School of Hygiene & Tropical Medicine, Public Health England, University College London, 2014. <https://www.nice.org.uk/guidance/ng6/documents/excess-winter-deaths-and-illnesses-economic-modelling2>
13. Howden-Chapman P, Viggers H, Chapman H, O'Sullivan K, Telfar-Barnard K, Lloyd B. Tackling cold housing and fuel poverty in New Zealand: a review of policies, research and health impacts. *Energy Policy* 2011 ; 49 : 134-42.
14. Dubreuil D, et al. *Coûts et bénéfices d'un plan de rénovation des passoires énergétiques à horizon 2025. Étude économique*. Paris : Initiative Renovons, 2017. http://renovons.org/IMG/pdf/sce_nario_re_novons_2017.pdf
15. Ezratty V, Ormandy D, Laurent MH, et al. Fuel poverty in France: adapting an English methodology to assess health cost implications. *Indoor Built Environ* 2017 ; 26 : 999-1008.
16. *Housing health, safety rating system: operating guidance*. London : Office of the Deputy Prime Minister, 2006. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/15810/142631.pdf
17. Ormandy D. The right to healthy housing: putting health at the centre of English housing policies. In : *Conseil d'Etat. Rapport public 2009. Droit au logement, droit du logement*. Paris : La Documentation Française, 2009.
18. *The housing health and safety system (England) regulations 2005 (No.3208)*. London : Office of the Deputy Prime Minister, 2009. http://www.legislation.gov.uk/uksi/2005/3208/pdfs/ukxi_20053208_en.pdf
19. *The housing health and safety system (Wales) regulations 2006 (No.1702 (W.164))*. London : Office of the Deputy Prime Minister, 2006. http://www.legislation.gov.uk/wsi/2006/1702/pdfs/wsi_20061702_mi.pdf
20. *Overview of the healthy home rating system (HHRS)*. Washington : U.S. Department of Housing and Urban Development, 2006. https://www.hud.gov/program_offices/healthy_homes/hhrs
21. Standard assessment procedure. In : *Guidance on how buildings will be SAP energy assessed under the Green Deal and on recent changes to incentivise low carbon developments*. London : Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2014. <https://www.gov.uk/guidance/standard-assessment-procedure>
22. Department for Communities, Local Government. *A decent home: definition and guidance for implementation*. London : Ministry of Housing, Communities & Local Government, 2006. <https://www.gov.uk/government/publications/a-decent-home-definition-and-guidance>
23. *Statistical evidence to support the housing health safety rating system*. London : Office of the Deputy Prime Minister, 2003.
24. Steg PG. *Infarctus du myocarde. Quand le cœur est privé d'oxygène*. Paris : INSERM, 2013. <http://www.inserm.fr/thematiques/physiopathologie-metabolisme-nutrition/dossiers-d-information/infarctus-du-myocarde>
25. *Diagnostic de performance énergétique – DPE*. Paris : Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/diagnostic-performance-energetique-dpe>
26. Service de la donnée et des études statistiques (SDES). *Enquête performance de l'habitat, équipements, besoins et usages de l'énergie (Phébus)*. Paris : Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES), 2014. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sources-methodes/enquete-nomenclature/1541/0/enquete-performance-lhabitat-equipements-besoins-usages.html>
27. Maurin L. *Les seuils de pauvreté en Europe*. Tours : Observatoire des inégalités, 2017. <https://www.inegalites.fr/Les-seuils-de-pauvrete-en-Europe>
28. Ezratty V, Ormandy D. Thermal discomfort in housing – a threat to health (part 1).. *Environ Risque Sante* 2015 ; 14 : 215-20.
29. Wilkinson P, Pattenden S, Armstrong B, et al. Vulnerability to winter mortality in elderly people in Britain: population based study. *BMJ* 2004 ; 329 : 647.
30. Blin P, Philippe F, Laurendeau C, et al. Increased costs due to myocardial infarction (MI) in France: an observational analysis using a Claims database. *Value Health* 2015 ; 18 : A386.
31. Fabienne Midy. *Choices in methods for economic evaluation*. Saint-Denis La Plaine : Haute Autorité de Santé, 2012. https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-10/choices_in_methods_for_economic_evaluation.pdf
32. Ezratty V, Ormandy D, Laurent MH, et al. *Adapting an English methodology to assess health cost benefits of upgrading energy inefficient French dwellings*. Congrès annuel ECEEE (European council for an energy efficient economy), monitoring and evaluation: building confidence and enhancing practices, 2017.
33. Laurent MH, Ezratty V, Ormandy D, Boutière F, Duburcq A. *Energy renovation of poorly efficient French dwellings: does it help to reduce costs to the French health system?*. Vienne : International energy policy & programme evaluation conference (IEPEEC), 2018.
34. *Choix méthodologiques pour l'évaluation économique à la HAS*. Saint-Denis La Plaine : Haute Autorité de santé, 2011. https://webzine.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2011-11/guide_methodo_vf.pdf
35. Ezratty V, Ormandy D, Laurent MH, Boutière F, Duburcq A, Cabanes P-A. Health cost benefits of energy upgrades in France. *AMPS Proceedings Series*. ISSN 2398-946 (sous presse).