

QUARTET - APPROCHE ECONOMIQUE DE VALORISATION DES GAINS GLOBAUX LIES AUX TRAVAUX DE RENOVATION ENERGETIQUE

RAPPORT

Décembre 2024



Rédacteurs	Relecteurs
Noelvia SEDOARISOA , CSTB Henri CASELLA , CSTB	Olivier CHANEL , DR CNRS – Université Aix Marseille Jeremy EL BEZE , CSTB (DRI DER) Mickaël DERBEZ , CSTB (coordinateur du projet QUARTET)

SOMMAIRE

QUARTET : Mettre en avant les gains globaux de la rénovation énergétique des bâtiments...	5
Rappel des projets QSE et QUARTET et de leurs objectifs	5
Mesurer les gains globaux de la rénovation énergétique des bâtiments	6
La valorisation des gains sanitaires mesurés lors de la rénovation énergétique de logements	6
1. Périmètre de l'étude	7
1.1. Polluants étudiés	7
1.2. Echantillon de l'étude	9
1.3. Gains sanitaires considérés dans l'étude	10
2. Identification des gains de QAI dans les logements enquêtés au cours du projet QSE ...	11
2.1. Mesure des gains de QAI pour le radon	11
2.2. Mesure des gains de QAI pour les PM _{2,5}	12
3. Mesure des effets sanitaires de la variation de QAI	14
3.1. Comment mesurer les bénéfices sanitaires de l'amélioration de la QAI ?	14
3.2. Gains sanitaires liés à la réduction de la concentration de radon dans les logements	15
3.3. Impacts sanitaires liés à la réduction de la concentration de PM _{2,5} dans les logements	17
4. Méthode de valorisation des impacts sanitaires liés à la qualité de l'air intérieur	21
4.1. Pourquoi et comment valoriser les risques sanitaires ?	21
4.2. Méthode de valorisation du risque de mortalité	22
4.3. Méthode de valorisation du risque de morbidité	23
5. Résultats : valorisation des gains observés	26
5.1. Radon : valorisation des gains sanitaires.....	26
5.2. PM _{2,5} : valorisation des gains (coûts) sanitaires	27
5.3. Illustration d'un logement ayant bénéficié d'une réduction des concentrations de radon et de PM _{2,5} après rénovation	28
Conclusions	29
Bibliographie	31
Glossaire.....	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Polluants mesurés avec la méthode QSE et existence de fonction exposition-risque dans la littérature scientifique	8
Tableau 2 : Détail des Travaux de Rénovation Réalisés par Logement pour les Échantillons Radon et PM _{2,5}	10
Tableau 3 : Radon - Mesure des impacts de la rénovation sur la QAI.....	12
Tableau 4 : PM _{2,5} - Mesure des impacts de la rénovation sur la QAI.....	13
Tableau 5 : Sources bibliographiques et informations utilisées pour la quantification des risques sanitaires.....	14
Tableau 6 : Nombre de cas attribuable de décès et de cas de morbidité dus au cancer du poumon liés au radon évitables grâce à la rénovation (échantillon de l'étude et échantillon de 100 000 habitants)	17
Tableau 7 : Risques relatifs selon les couples polluantseffets étudiés.....	18
Tableau 8 : Nombre de cas attribuable de décès et de cas de morbidité dus aux différentes pathologies liées au PM _{2,5} engendré par la rénovation (échantillon de l'étude et échantillon de 100 000 habitants)	20
Tableau 9 : Sources mobilisées pour valoriser la variation du risque sanitaire	22
Tableau 10 : Coefficient d'incapacité et valeur monétaire annuelle de la perte de bien-être associée	24
Tableau 11 : Valeur économique annuelle des pertes de production pour un cas incident ..	25
Tableau 12 : Dépenses de santé annuelle par cas incident (euros 2023)	25
Tableau 13 : Radon : Gain sanitaire annuel en euros lié à la mortalité et à la morbidité avec intervalles de confiance (IC95%)	26
Tableau 14 : PM _{2,5} : Coûts sanitaire annuel en euros lié à la mortalité et à la morbidité avec intervalles de confiance (IC95%)	27
Tableau 15 : Gain sanitaire annuel en euros lié à la mortalité et à la morbidité évitées grâce à la réduction du niveau de radon et de PM _{2,5} , avec intervalles de confiance (IC95%)	28

QUARTET : METTRE EN AVANT LES GAINS GLOBAUX DE LA RENOVATION ENERGETIQUE DES BATIMENTS

Rappel des projets QSE et QUARTET et de leurs objectifs

Le CSTB mène des recherches sur l'impact des travaux de rénovation énergétique sur la performance globale (qualité d'air intérieur, confort d'ambiance et consommations énergétiques) des bâtiments au travers de deux projets soutenus financièrement par le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE) dans le cadre du programme PROFEEL : le projet Qualité Sanitaire et Énergétique des rénovations (QSE) réalisé de 2019 à 2021 et le projet QUARTET s'inscrivant dans la continuité du précédent projet, démarré en 2022 et s'achevant en 2025.

Les deux objectifs de ces projets sont :

- a) D'améliorer l'état des connaissances sur l'impact des rénovations énergétique sur la qualité de l'air, le confort d'ambiance et les consommations énergétiques au moyen de suivis expérimentaux réalisées sur des bâtiments de différentes typologies, avant et après les travaux de rénovation énergétique ;
- b) De fiabiliser la rénovation énergétique des bâtiments en facilitant l'évaluation de la performance globale au moyen d'une méthode simple et peu coûteuse à destination notamment des collectivités territoriales, des gestionnaires de parc, des bailleurs sociaux.

Au cours du projet QSE, l'évaluation de l'impact des travaux de rénovation énergétique sur la performance globale de 29 logements a été réalisée ainsi que celle de 20 bâtiments (habitation, école, bureau) rénovés depuis 1 à 3 ans. Cette évaluation a été réalisée au moyen d'une méthode dite de référence qui nécessite l'utilisation de dispositifs de mesure professionnels et la formation par le CSTB des enquêteurs en charge des enquêtes. A partir de cette méthode de référence, une méthode simple et peu coûteuse appelée « méthode QSE » a été élaborée et se base sur l'utilisation de capteurs de mesure en continu disponibles sur le marché.

Au cours du projet QUARTET, les suivis expérimentaux avec la méthode de référence se poursuivent dans les bâtiments à usage d'enseignement et de bureaux en cours d'instrumentation. En l'absence de données sur les gains globaux liés à la rénovation énergétique des bâtiments, il a été proposé de développer une méthode d'évaluation ciblée sur la qualité de l'air intérieur et de l'appliquer aux données des suivis expérimentaux réalisés dans le cadre du projet QSE. Parallèlement, un centre de ressources dédié à la méthode QSE (<https://www.qse-renovation.fr/>) a été créé et la méthode a été déployée sur le terrain par quatre organismes volontaires. Il est prévu de former les futurs utilisateurs de la méthode courant 2025.

Mesurer les gains globaux de la rénovation énergétique des bâtiments

L'un des objectifs du projet Quartet est de mesurer les gains globaux liés à la rénovation énergétique de bâtiment. L'amélioration globale des bâtiments est déduite de la comparaison de la performance globale avant travaux et après travaux grâce à une collecte de données selon trois dimensions principales :

- Les gains de Qualité d'Air Intérieur (QAI). Un bâtiment mieux isolé doit mener à la réduction de la pénétration des polluants présents à l'extérieur et donc à des gains en termes de santé pour les occupants, à condition que les sources intérieures soient de même nature et intensité avant et après travaux ;
- Les gains de confort d'ambiance. Cette dimension regroupe plusieurs aspects du confort : le confort acoustique (bruit intérieur et extérieur), le confort thermique, et le confort olfactif ;
- Les gains en termes de réduction des consommations d'énergies. La baisse des dépenses énergétiques ainsi que la réduction des consommations d'énergie fossile seront ainsi considérées.

La collecte de données réalisée par la méthode de référence s'appuie sur plusieurs outils de collecte : mesure en continu ou prélèvement d'air et analyse différée en laboratoire pour la QAI, auto-questionnaire pour recueillir la perception des occupants pour le confort d'ambiance et recueil des factures d'énergie pour l'évaluation des économies énergétiques réelles.

Il est possible de procéder à une valorisation économique de ces gains, c'est-à-dire à une traduction en termes monétaires¹ (exprimés en euros). Cette valorisation s'appuie sur une démarche scientifique qui doit être adaptée au contexte spécifique du projet Quartet. Les équivalents monétaires de ces gains globaux peuvent par la suite être mobilisés dans des analyses coût-bénéfice visant à objectiver et comparer les effets d'un projet en mettant en regard les gains et les coûts associés. Toutefois, c'est avant tout la possibilité d'une évaluation globale des gains sanitaires offerte par la valorisation économique qui explique l'utilisation de cette méthode dans ce rapport.

La valorisation des gains sanitaires mesurés lors de la rénovation énergétique de logements

Les gains sanitaires pour les habitants de ces logements rénovés énergétiquement sont de natures diverses : réduction de la mortalité, baisse des dépenses de santé, de la perte de bien-être due à la maladie. La valorisation économique ouvre la possibilité de traduire ces

¹ On parle également de monétisation. Dans ce rapport, le terme de valorisation est utilisé pour ce qui a trait à la traduction en termes économiques des gains globaux.

gains en équivalent monétaire pour les sommer par la suite et proposer ainsi une vision globale de l'effet des rénovations énergétiques sur la santé des occupants des bâtiments.

Ce rapport rend compte de la méthode qui a été développée pour les besoins de cette étude et qui permet d'associer à des travaux de rénovation énergétiques, des gains sanitaires. Il présente les différentes étapes permettant de décrire le lien entre travaux de rénovation énergétiques et effets sanitaires pour les occupants.

La première partie de ce rapport définit le périmètre de l'étude et précise les objectifs de cette recherche. La seconde partie, par l'observation de la situation de la performance globale des logements avant et après travaux, décrit la façon dont les gains de QAI sont quantifiés. La modélisation des effets sanitaires de la variation de la QAI est présentée dans la troisième partie de ce rapport. La quatrième partie expose la méthode de valorisation des gains qui a été employée pour traduire les effets sanitaires en équivalent économique. Enfin la cinquième et dernière partie présente les résultats obtenus par cette méthode pour l'échantillon retenu.

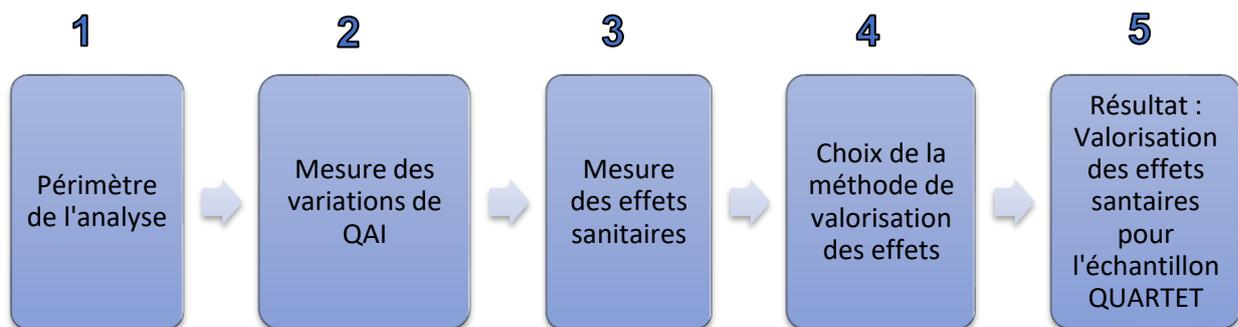


Figure 1 Démarche générale de l'étude

1. PERIMETRE DE L'ETUDE

1.1. Polluants étudiés

La qualité de l'air intérieur impacte directement et durablement la santé des occupants des bâtiments. Toutefois, il est délicat d'attribuer un effet précis comme le déclenchement d'une maladie à un polluant en particulier ; l'établissement d'un lien de causalité nécessitant des études ambitieuses sur des cohortes importantes.

Les suivis expérimentaux qui ont lieu dans le cadre des projets QSE et QUARTET vise avant tout à mesurer notamment des variations en termes de QAI sans recueillir de données sanitaires sur les ménages occupant les logements qui font l'objet de rénovation. C'est pour cela que les variations de QAI valorisées ici ne portent que sur des polluants pour lesquelles la littérature scientifique établit déjà un lien entre une concentration et les risques d'occurrence

d'une maladie ou de décès. Il faut en effet pouvoir s'appuyer sur ces gains « marginaux » de QAI, c'est-à-dire comparant des concentrations moyennes avant/après. On parle de relations « exposition – risque » également appelées fonctions « concentration – réponse » lorsqu'il est possible d'associer scientifiquement un changement de risque sanitaire à une variation moyenne de concentration d'un polluant.

Deux types de sources scientifiques peuvent être mobilisées. Tout d'abord, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recense les polluants de l'air intérieur et propose des méthodes d'estimation des risques sanitaires associés à leur concentration dans l'air (OMS, 2010, 2021). Pour certains polluants, l'OMS ne fournit cependant pas de fonctions exposition-risque spécifiques, comme c'est le cas pour les PM_{2,5}. Néanmoins, l'abondance de la littérature scientifique, notamment les méta-analyses ou les revues systématiques, permet de prendre en compte cette pollution, en utilisant des fonctions exposition-risque validées par la communauté scientifique. Par souci de rigueur et de praticité, ces sources scientifiques ont été utilisées.

Parmi les polluants de l'air intérieur mesurés par la méthode de référence, une sélection a été faite (Tableau 1) pour ceux qui sont mesurés par la méthode QSE qui a vocation à être largement utilisée par les collectivités locales, les bailleurs sociaux, les gestionnaires de parc.

Tableau 1 Polluants mesurés avec la méthode QSE et existence de fonction exposition-risque dans la littérature scientifique

Mesure	Unité de mesure	Existence d'évaluation sanitaire liée à la concentration en polluant
CO ₂	ppm	
T	°C	
HR	%	
PM _{2,5}	µg/m ³	x
NO ₂	µg/m ³	x
Radon	Bq/m ³	x
Formaldéhyde	µg/m ³	
Présence d'un risque de développement de moisissures	Oui/Non	

Parmi les polluants mesurés dans le cadre des suivis expérimentaux, seules les variations de risque liées au **PM_{2,5}** et le **Radon** ont été étudiées. Le NO₂ n'est pas pris en compte pour éviter un double compte des effets (notamment avec ceux des PM_{2,5}), conformément aux pratiques des agences d'évaluation en santé publique (OMS, Santé publique France).

1.2. Echantillon de l'étude

L'échantillon considéré pour cette étude se concentre sur 29 logements² enquêtés avant et après travaux dans le cadre du projet QSE réalisé de 2019 à 2021. Les périodes d'enquête de ces 29 logements s'étalent du mois de novembre 2019 au mois de juin 2021 pour la phase « avant les travaux » et du mois d'octobre 2020 au mois de novembre 2021 pour la phase « après les travaux ». La population concernée atteint 135 occupants dont 110 ont plus de 15 ans et ont rempli un formulaire perceptif pour alimenter l'étude sur le confort d'ambiance intérieur.

Seuls les logements pour lesquels la concentration des polluants ciblés était disponible avant et après travaux de rénovation ont été sélectionnés. En effet, il est indispensable de disposer de la variation de concentration en polluant pour estimer l'impact sanitaire de la rénovation.

L'échantillon est donc composé de 5 logements regroupant 18 occupants pour le radon et de 12 logements regroupant 27 occupants pour la pollution aux particules fines (PM_{2,5}). Pour deux logements (4 occupants), des données pour les deux polluants sont disponibles. Ces données proviennent de l'étude Qualité Sanitaire et Energétique des rénovations (2019-2021) qui précède l'étude QUARTET (2022-2025).

Les travaux de rénovation ont couvert à la fois l'enveloppe du bâtiment et le système de chauffage pour différents logements répartis en deux échantillons : radon et PM_{2,5}. Concernant l'enveloppe du bâtiment, les améliorations les plus courantes concernent les menuiseries extérieures (remplacement de plus de 50 % des fenêtres ou portes-fenêtres) et l'isolation des murs (isolation de plus de 50 % des façades extérieures). D'autres aspects, comme l'isolation de la toiture, du plancher des combles et du plancher bas, ont été moins souvent traités et varient d'un logement à l'autre. Pour ce qui est des systèmes, les mises à niveau les plus courantes incluent les systèmes de chauffage, de ventilation et de production d'eau chaude sanitaire, avec un accent particulier mis sur les améliorations de la ventilation. Bien que la climatisation soit rarement intégrée, elle a été envisagée dans quelques cas spécifiques de l'échantillon PM_{2,5}. Le tableau suivant (Tableau 2) détaille les types de travaux réalisés dans chaque logement, offrant une vue d'ensemble des interventions effectuées pour chaque échantillon analysé.

². Pour en savoir plus, consulter le rapport suivant : <https://www.proreno.fr/documents/impact-de-la-renovation-energetique-sur-levaluation-de-la-performance-globale-des-logements>«

Tableau 2 : Détail des Travaux de Rénovation Réalisés par Logement pour les Échantillons Radon et PM_{2.5}

Logement	Travaux sur les enveloppes					Travaux sur les systèmes			
	Menuiserie extérieure	Toiture	Isolation du plancher des combles	Isolation du Plancher bas	Isolation des murs	Système de chauffage	Système de production d'eau chaude sanitaire	Système de ventilation	Remplacement ou Installation de système de climatisation
Echantillon radon									
Logement A	✓	X	X	X	✓	X	X	✓	X
Logement B	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	X
Logement C	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	X
Logement D	✓	X	X	X	✓	X	✓	✓	X
Logement E	✓	✓	X	✓	X	X	X	✓	X
Echantillon PM2.5									
Logement F	X	X	X	X	✓	X	X	✓	X
Logement G	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	✓	X
Logement H	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
Logement I	✓	X	X	X	X	X	X	X	X
Logement J	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	X
Logement B	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	X
Logement D	✓	X	X	X	✓	X	✓	✓	X
Logement K	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Logement L	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	X
Logement M	✓	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	X
Logement N	✓	✓	X	X	✓	X	✓	✓	X
Logement O	✓	✓	X	X	✓	X	✓	✓	X

1.3. Gains sanitaires considérés dans l'étude

Cette étude porte sur les effets sanitaires de la rénovation des logements pour les individus ayant participé aux suivis expérimentaux des logements du projet QSE.

Les risques sanitaires sont spécifiques à chaque polluant intérieur et dépendent de l'exposition des individus à celui-ci. Une réduction de l'exposition après travaux de rénovation correspond à une amélioration de la QAI que l'on mesure en considérant la réduction du risque sanitaire pour chaque individu.

Les risques sanitaires considérés sont d'une part ceux qui pèsent directement sur les individus, soit le **risque de mortalité** qui est le risque de décès prématuré dû à la maladie et le **risque de morbidité** qui correspond au risque de maladie et de la perte de bien-être qui en découle. De plus, les coûts collectifs sont également intégrés à l'analyse. Ainsi, les coûts de maladie sont pris en compte au travers de l'impact des pathologies sur les dépenses de soin du pays (salaire des soignants, budget de fonctionnement des structures de soin...). De plus, les pertes de production, qui correspondent au fait qu'une personne malade ne peut travailler, sont également comptabilisés.

La valorisation des risques se fonde ainsi sur 4 types de coût pour la société engendrés par la maladie :

- Perte de la vie (Valeur d'une Vie Statistique, Quinet, 2013) ;
- Perte de bien-être pendant la maladie (utilisation des Disability weight valorisé par une valeur d'année de vie (Quinet 2013) ;

- Dépenses de soin (dépenses de santé de l'Assurance Maladie) ;
- Pertes de production (calcul à partir du salaire journalier moyen).

En définitive, cette analyse mesurera donc quatre types d'effets : les risques de mortalité, les risques de morbidité, incluant les coûts liés à la perte de bien-être, les coûts médicaux, ainsi que les pertes de production des occupants des logements de l'échantillon.

2. IDENTIFICATION DES GAINS DE QAI DANS LES LOGEMENTS ENQUETES AU COURS DU PROJET QSE

2.1. Mesure des gains de QAI pour le radon

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle émis par certain type de roches. En se désintégrant, le radon forme des particules elles-mêmes radioactives qui, une fois inhalées, se déposent sur les voies respiratoires et provoquent leur irradiation³. Dans l'air extérieur, le radon se dilue rapidement et sa concentration moyenne reste faible. En revanche, en milieu confiné, comme c'est le cas des bâtiments, le radon peut s'accumuler et atteindre des seuils dangereux. Une exposition prolongée augmente ainsi les risques de développer un cancer du poumon.

Dans le cadre du projet QSE, l'exposition des ménages au radon a été mesurée par un dosimètre placé dans le logement pendant une durée minimale de deux mois sur la période du 15 septembre au 30 avril de l'année suivante. La quantité cumulée de radiation émise au cours de cette période correspond à l'exposition du ménage à ce polluant. Il est donc possible d'établir un lien direct et causal entre les variations de concentration de ce polluant et la réalisation de travaux de rénovation. C'est pourquoi dans cette étude, la fonction de risque relatif issue de la littérature pour chacun des 18 occupants des 5 logements instrumentés a été utilisée.

Ainsi, l'impact individuel sur la QAI pour le radon est obtenu par la comparaison entre l'exposition constatée sur la période de mesure avant et sur celle après les travaux. Les gains considérés pour l'étude correspondent donc à la somme des gains individuels de réduction des risques sanitaires mesurée pour l'échantillon.

Pour l'échantillon d'étude, la rénovation a conduit à une diminution de l'exposition au radon (cf. Tableau 3), sauf dans un cas (logement D) où l'exposition reste stable. La baisse de la concentration moyenne en radon par logement est de 58,9 Bq/m³ ce qui constitue une amélioration significative.

³ <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/environnement/dou-vient-radon>

Tableau 3 Radon - Mesure des impacts de la rénovation sur la QAI

Logement	Niveau de radon avant rénovation	Niveau de radon après rénovation	Variation avant/après	Nombre d'occupant	Variation radon pondérée
Logement A	104,2	46,7	-57,5	7	-402,5
Logement B	235,9	127,8	-108,1	2	-216,2
Logement C	225,7	146,2	-79,5	5	-397,5
Logement D	167,3	167,4	0	2	0
Logement E	105,2	83,3	-21,9	2	-43,8
Moyenne pondérée par population de la variation d'exposition au Radon					-58,9 Bq/m3

2.2. Mesure des gains de QAI pour les PM_{2,5}

Les PM_{2,5} sont des particules fines émises principalement par le transport routier (moteur thermique et abrasion des pneus et freins), le chauffage des bâtiments (combustion de fioul, gaz et bois) et des usages intérieurs (cuisson, tabagisme, encens...). Ainsi, la pollution intérieure aux PM_{2,5} est à la fois d'origine extérieure et intérieure. L'exposition aux particules fines « augmente le risque de développer des maladies chroniques cardio-vasculaires et des cancers, favorise les troubles de la reproduction et du développement de l'enfant et aggrave les symptômes des maladies de personnes souffrant de pathologie chronique »⁴.

Une meilleure isolation de l'enveloppe du bâtiment (notamment au niveau des menuiseries) permet en principe de réduire la pénétration de la pollution particulaire extérieure. Elle peut également de façon ponctuelle participer à une stagnation de ce polluant entraînant une augmentation de l'exposition des occupants d'un logement. C'est pourquoi il est délicat d'associer méthodologiquement une variation de l'exposition aux particules à la seule réalisation de travaux de rénovation. Les comportements des habitants, les variations météorologiques ainsi que l'importance du trafic routier ont également un impact direct sur ces variations de concentration.

Dans le cadre du projet QSE, l'exposition initiale au PM_{2,5} a été mesurée par la concentration massique moyenne de PM_{2,5} dans le logement au cours d'une campagne de mesure d'une semaine. Cette mesure est complétée par une campagne similaire réalisée à l'achèvement des travaux.

Du fait de la difficulté méthodologique d'expliquer les variations observées uniquement par les travaux de rénovation, cette étude prend en compte le gain moyen pour l'ensemble des habitants (et non le gain individuel). On obtient ce gain moyen en comparant la concentration moyenne pondérée par le nombre d'occupants dans les logements avant travaux à celle observée dans les logements après travaux. La moyenne obtenue représente

⁴ <https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/189662/2330878>

l'exposition moyenne de l'échantillon aux PM_{2,5}. C'est sur ce résultat que se basera l'étude de la variation des risques sanitaires.

Pour l'échantillon de l'étude (12 logements, 27 personnes), les travaux de rénovation conduisent à une légère augmentation moyenne de la concentration massique des PM_{2,5} dans les logements de 0,9 µg/m³ (Tableau 4). On constate toutefois que les situations sont contrastées en fonction des logements, sans qu'il soit possible d'expliquer ces variations de concentration en PM_{2,5} par la seule réalisation de travaux de rénovation. Pour les deux polluants étudiés ici, nous constatons une amélioration de la qualité de l'air intérieur mesurée pour 80% (4/5) des logements en ce qui concerne le radon, et 50% (6/12) pour les PM_{2,5}. Les effets attendus de cette amélioration de la QAI sont présentés dans la partie suivante qui expose la mesure des effets sanitaires des rénovations entreprises.

Tableau 4 : PM_{2,5}- Mesure des impacts de la rénovation sur la QAI

Code Logement	Niveau de PM _{2,5} avant rénovation	Niveau de PM _{2,5} après rénovation	Variation avant/après	Nombre d'occupants	Variation PM _{2,5} pondérée
Logement F	8,7	78,3	-69,6	2	-139,3
Logement G	6,6	16,8	-10,2	2	-20,5
Logement H	7,1	22,7	-15,6	2	-31,2
Logement I	13,7	10,5	3,3	1	3,3
Logement J	8,4	6,2	2,2	2	4,5
Logement B	10	10,7	-0,7	2	-1,4
Logement D	9,8	17,2	-7,4	2	-14,7
Logement K	29,9	23,5	6,4	3	19,3
Logement L	14,3	14,6	-0,4	4	-1,4
Logement M	10,8	8	2,8	1	2,8
Logement N	17,8	5,1	12,7	1	12,7
Logement O	52,4	14,3	38,1	5	190,3
Moyenne pondérée par population de la variation d'exposition au PM _{2,5}					0,90 µg/m ³

3. MESURE DES EFFETS SANITAIRES DE LA VARIATION DE QAI

3.1. Comment mesurer les bénéfices sanitaires de l'amélioration de la QAI ?

Cette section se concentre sur l'évaluation des impacts sanitaires liés à la rénovation des logements de l'échantillon de l'étude. L'estimation repose sur trois types de données principales :

- La variation des niveaux d'exposition de la population, basée sur les résultats de la section précédente,
- La quantification des risques sanitaires,
- Les données démographiques et sanitaires (fréquences des évènements sanitaires) de la population.

Les variations moyennes retenues pour les concentrations de radon et de PM_{2,5} sont respectivement de -58,9 Bq/m³ (réduction significative) et +0,9 µg/m³ (légère augmentation).

La quantification des risques sanitaires repose sur des fonctions exposition-réponse issues de la littérature scientifique (Tableau 5). Pour le radon, les études d'Ajrouché et al. (2018) et de Darby et al. (2005) ont été utilisées, tandis que pour les PM_{2,5}, les travaux de Chen et Hoek (2020) servent de référence.

Ces fonctions permettent d'estimer le nombre de cas de mortalité prématurée attribuables aux variations de concentration de radon et de PM_{2,5}. En l'absence de fonctions exposition-réponse spécifiques pour la morbidité, le nombre de cas de morbidité attribuables est estimé à partir du nombre de décès, en appliquant le ratio entre l'incidence et la mortalité.

Les données démographiques et sanitaires de la population utilisées proviennent de trois sources principales : l'INSEE (2021), l'INED (2021) et l'IHME (2021).

Les sections suivantes détaillent l'application de ces méthodes pour le radon et les PM_{2,5}.

Tableau 5 – Sources bibliographiques et informations utilisées pour la quantification des risques sanitaires

Source	Année	Type de document	Informations utilisées
Darby et al.	2005	Article scientifique (étude épidémiologique européenne)	Fonction exposition-réponse relative au décès par cancer du poumon induit par le radon
Ajrouché et al.	2018	Article scientifique (France)	Méthode de calcul du risque annuel de décès par cancer de poumon induit par le radon
J. Chen, G. Hoek	2020	Revue de littératures scientifiques (Méta-analyse)	Fonction exposition-réponse relative aux effets induits par la PM _{2,5} sur la mortalité

3.2. Gains sanitaires liés à la réduction de la concentration de radon dans les logements

a) Radon : Estimation des effets sur la mortalité

Le radon a été classé comme cancérogène pulmonaire certain pour l'homme depuis 1987 par le centre international de recherche sur le cancer – CIRC, organisme de l'Organisation Mondiale de la Santé. Des études épidémiologiques menées à l'échelle mondiale ont montré un excès de mortalité par cancer du poumon ainsi qu'une augmentation du risque de décès associé à l'exposition au radon dans les habitations.

Plusieurs études, notamment celles de l'OMS (2021) et de Darby et al. (2005), établissent une relation dose-réponse claire entre l'exposition au radon et le risque de cancer du poumon. En général, les risques liés au radon sont évalués sur la durée de vie d'un individu.

Pour transformer les valeurs monétaires ainsi obtenues en valeurs annuelles, plusieurs hypothèses doivent être formulées. C'est pourquoi nous avons choisi d'adapter la méthodologie proposée par Ajrouche et al. (2018), qui permet de calculer directement le nombre annuel de décès par cancer du poumon attribuables à l'exposition au radon intérieur. Dans cette étude, l'association entre le niveau d'exposition au radon et l'incidence⁵ accrue du cancer du poumon repose sur les résultats d'une analyse combinée d'études cas-témoins menées en Europe par Darby et al. (2005). Cette analyse montre que le risque de cancer du poumon augmente de 16% pour chaque augmentation de 100 Bq/m³ de concentration de radon intérieur, avec un intervalle de confiance à 95 % compris entre 5 % et 31 %. L'excès de risque relatif (ERR) observé ne différait pas de manière significative entre les fumeurs actuels, les anciens fumeurs et les non-fumeurs (Darby et al., 2005, 2006). Par conséquent, la même valeur d'ERR a été appliquée à toutes les catégories de fumeurs.

L'étude suppose que le risque de cancer du poumon concerne les populations âgées de 20 ans et plus, soit 13 personnes dans notre échantillon.

Pour calculer le nombre total de décès par cancer du poumon attribuables à l'exposition au radon, la méthodologie proposée par Ajrouche et al. (2018) s'appuie sur deux étapes :

- 1. Calcul de la fraction attribuable dans la population (FAP) :**
La FAP a été calculée selon le concept de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (Pruss-Ustun et al., 2003), en suivant la méthodologie décrite par Menzler et al. (2008). La FAP est estimée à partir de l'équation suivante :

$$PAF = \frac{RR(x) - 1}{RR(x)}$$

⁵ En épidémiologie, l'incidence d'une pathologie est une mesure qui quantifie le nombre de nouveaux cas d'une maladie survenant dans une population donnée, au cours d'une période de temps spécifique. L'incidence aide à évaluer le risque de développer la maladie pour les individus dans cette population.

où $RR(x)$ représente le risque relatif de cancer du poumon chez les personnes exposées à une concentration moyenne de radon x (dans notre cas, c'est la variation moyenne de concentration, soit $58,9 \text{ Bq/m}^3$ qui est évaluée).

- 2. Estimation du nombre annuel de décès par cancer du poumon ($N(Rn)$) :**
Le nombre annuel de décès par cancer du poumon ($N(Rn)$) attribuables à l'exposition au radon intérieur à l'âge a dans l'échantillon est obtenu en multipliant la FAP par le nombre total de décès par cancer du poumon (NT) survenant chaque année :

$$N(Rn)_a = PAF_a \times NT_a$$

Avec :

NT_a = Nombre de personnes âgées de 20 ans et plus de l'échantillon x Taux de décès par cancer du poumon dans cette catégorie d'âge.

b) Radon : Estimation des effets sur la morbidité

Les études ne fournissent pas d'indications précises concernant les liens entre l'exposition au radon et les maladies non mortelles. Cependant, en se basant sur le nombre de décès liés à l'exposition au radon déterminé à partir de la méthode précédente, il est possible d'estimer l'impact potentiel du radon sur la morbidité.

Pour ce faire, on peut utiliser le ratio incidence/décès (r) pour estimer le nombre de personnes atteintes de cancer du poumon en raison de l'exposition au radon, mais qui ne décéderont pas (M), permettant ainsi d'évaluer l'impact du radon sur la morbidité.

$$M = N(Rn)_a \times r$$

Selon les données de l'IHME (2021), le ratio incidence/décès pour le cancer du poumon en France est estimé à environ 1,285. Cela signifie que pour chaque décès dû au cancer du poumon, il y a en moyenne 1,285 nouvelle personne atteinte de la maladie.

Si l'on interprète ce rapport comme un indicateur de survie à court terme (sur une année), cela suggère qu'environ 77,8 % des personnes diagnostiquées décéderont dans l'année, tandis que 22,2 % survivront. Ce taux de survie à court terme est relativement faible comparé aux résultats d'une étude menée en France, qui indique une probabilité de survie à 5 ans de 20 % (Delafosse et al., 2020). Toutefois, nous avons choisi de nous appuyer sur les données de l'IHME pour cette étude en raison de leur centralisation et de leur standardisation, ce qui facilite la reproduction de l'étude et garantit l'utilisation de données homogènes pour toutes les pathologies étudiées. Ces données, conformes aux standards de l'OMS, sont également largement reconnues comme fiables au sein de la communauté scientifique.

Les résultats de l'application de ces méthodes à l'échantillon de l'étude, en termes de nombre de décès et de cas de morbidité dus au cancer du poumon évitables grâce à la rénovation, sont présentés dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Nombre de cas attribuable de décès et de cas de morbidité dus au cancer du poumon liés au radon évitables grâce à la rénovation (échantillon de l'étude et échantillon de 100 000 habitants)

Indicateur d'impact sanitaire	Nombre de cas d'impact sanitaire attribuable (pour l'échantillon de l'étude)	IC 95% (Intervalle de Confiance) (Pour l'échantillon de l'étude)	Nombre de cas d'impact sanitaire attribuable (pour 100 000 habitants)	IC 95% (pour 100 000 habitants)
Décès	0,0011049	0,000367019 - 0,001980944	8,5	2,8 - 15,2
Morbidité	0,001419786	0,000471597- 0,002545391	10,9	3,6 - 19,6

Le Tableau 6 montre que la réduction du niveau de radon de **-58,88 Bq/m³** après rénovation a un impact sanitaire positif, bien que limité sur un échantillon de **13 personnes âgées de plus de 20 ans**. En effet, les estimations indiquent que très peu de décès (0,001 décès) et de cas de morbidité (0,0014 cas) peuvent être évités dans cet échantillon.

Cependant, lorsque ces résultats sont extrapolés à une population de **100 000 habitants, toutes choses égales par ailleurs**, l'impact devient plus conséquent, avec environ **8,5 décès** et **10,9 cas de morbidité évités**, avec des intervalles de confiance respectifs allant de **2,8 à 15,2 décès** et de **3,6 à 19,6 cas de morbidité**. Ces résultats démontrent qu'une rénovation à grande échelle peut réduire de façon importante les risques de cancer du poumon attribuable au radon, tant en termes de mortalité que de morbidité.

3.3. Impacts sanitaires liés à la réduction de la concentration de PM_{2,5} dans les logements

Il existe de nombreuses preuves scientifiques solides montrant que l'exposition quotidienne sur plusieurs années à la pollution de l'air, notamment aux particules fines, favorise le développement de maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, respiratoires, neurologiques et certains types de cancers. Notre étude s'appuie sur les risques relatifs issus de ces preuves pour évaluer les impacts sanitaires liés aux PM_{2,5}.

L'étude de Jie Chen et Gerard Hoek (2020), qui constitue la méta-analyse la plus récente dans ce domaine a été choisie. Elle vise à améliorer la compréhension de l'impact cumulatif de l'exposition aux particules fines sur la mortalité toutes causes confondues ainsi que sur la mortalité spécifique à certaines causes. Les résultats de l'étude révèlent une association significative entre l'exposition à long terme aux PM_{2,5} et une augmentation du risque de mortalité toutes causes confondues (« Natural-cause », ou « non-accidental

mortality » (A00 – R99)). De plus, une corrélation positive a été observée entre l'exposition aux PM_{2,5} et les maladies respiratoires, cardiovasculaires, ainsi que le cancer du poumon (voir Tableau 7).

Comme illustré dans le Tableau 7, les résultats sont exprimés sous forme de risques relatifs (RR, ou Risk Ratio) pour une variation de 10 µg/m³, tels qu'estimés par les études épidémiologiques. La dernière colonne présente l'intervalle de confiance à 95 % [IC95 %], qui reflète l'erreur aléatoire et la variabilité attribuées à l'hétérogénéité des RR provenant des études analysées.

Tableau 7 : Risques relatifs selon les couples polluants effets étudiés

PM _{2.5}	Nombre d'études	RR groupé par 10 µg/m ³	I ² (%)	Intervalle de prédiction
Cause naturelle	25	1,08 (1,06, 1,09)	88,9	(1,05, 1,11)
Circulatoire	21	1,11 (1,09, 1,14)	72,1	(1,06, 1,17)
IHD (maladie cardiaque ischémique)	22	1,16 (1,10, 1,21)	77,5	(1,04, 1,29)
AVC	16	1,11 (1,04, 1,18)	84,7	(0,98, 1,25)
Respiratoire	17	1,10 (1,03, 1,18)	83,6	(0,95, 1,29)
MPOC (maladie pulmonaire obstructive chronique)	11	1,11 (1,05, 1,17)	49,6	(1,02, 1,21)
ALRI (infection respiratoire inférieure aiguë)	4	1,16 (1,01, 1,34)	83,0	(0,88, 1,54)
Cancer du poumon	15	1,12 (1,07, 1,16)	39,4	(1,05, 1,18)

N = nombre d'études

Source : Jie Chen et Gerard Hoek (2020)

a) PM_{2,5} : estimation des effets sur la mortalité

Pour estimer l'effet des PM_{2,5} sur la mortalité, cette étude a uniquement pris en compte la mortalité pour cause naturelle, en retenant un RR de 1,08 (intervalle de confiance à 95 % : 1,06 – 1,09) pour une augmentation de 10 µg/m³ de la concentration de PM_{2,5}, issu de l'étude de Chen et Hoek (2020).

L'étude se concentre sur la réduction du risque de décès (hors causes violentes) couvrant l'ensemble des pathologies. Étant donné que l'exposition aux PM_{2,5} affecte plusieurs

maladies (cardiovasculaires, pulmonaires, etc.), cette valeur synthétique permet de prendre en compte l'intégralité des impacts sur la santé⁶.

Les estimations des risques relatifs présentées dans cette étude ont été obtenues en supposant une relation non linéaire. De plus, étant donné que les individus répartissent leur temps entre différents micro-environnements, un facteur de 2/3 a été appliqué à l'impact sanitaire moyen pour tenir compte du temps moyen passé par une personne dans son domicile⁷. Enfin, le taux de mortalité et le nombre d'occupants sont ajustés en fonction de l'âge mais nous utilisons le même risque relatif pour toutes les catégories d'âge. Les estimations seront donc basées sur les formules suivantes.

$$N_a = \exp \left(\left(\Delta PM_{2.5} \times \frac{2}{3} \times \frac{\ln(RR_{\text{décès causes naturelles}})}{10} \right) - 1 \right) \times NT_a$$

Où :

- N_a est le nombre de décès pour cause naturelle attribuables au PM_{2,5} pour la catégorie d'âge a,
- $\Delta PM_{2.5}$ est la variation des niveaux de PM_{2,5} après rénovation (PM_{2,5} après rénovation - PM_{2,5} avant rénovation), soit 0,9 µg/m³,
- $RR_{\text{décès causes naturelles}}$ est le risque relatif pour les décès par cause naturelle,
- 2/3 est un facteur de pondération pour tenir compte du temps d'exposition,
- NT_a est le nombre annuel de décès naturels dans la catégorie d'âge a.

Avec :

NT_a = Nombre d'occupants de la catégorie d'âge a de l'échantillon x Taux de décès pour cause naturelle de cette catégorie d'âge.

L'impact total de la rénovation sur la mortalité est la somme des impacts par catégorie d'âge.

b) PM_{2,5} : estimation de la réduction des risques de morbidité

L'estimation de l'impact sur la morbidité repose sur une méthode similaire à celle utilisée pour le radon, en l'absence de risques relatifs (RR) spécifiques à la morbidité.

Comme mentionné précédemment, la pollution atmosphérique peut provoquer divers épisodes morbides, notamment des maladies cardiovasculaires et respiratoires. L'étude de Jie Chen & Gerard Hoek (2020), citée plus haut, fournit des valeurs de RR spécifiques pour les décès associés aux différentes maladies liées au PM_{2,5}.

⁶ Ce choix a été motivé par 2 éléments. D'une part cela simplifie la démarche de calcul et facilite la possibilité de reproduire celle-ci pour un autre cas. D'autre part, cela supprime les risques de double compte des impacts puisque la définition des pathologies peut regrouper plusieurs maladies.

⁷ On suppose ainsi que l'impact sanitaire d'une variation d'exposition est proportionnel au temps moyen passé par une personne dans son logement soit 16h en moyenne par jour ((Zeghnoun et al. (2009) Zeghnoun A., Dor F. (2009),

Afin d'éviter les doubles comptes, trois pathologies principales ont été retenues pour l'estimation de l'impact sur la morbidité : le cancer du poumon, les maladies cardiovasculaires et les maladies respiratoires.

Les rapports incidence/décès par pathologie, issus de la base IHME (2021) sont les suivants maladies cardiovasculaires : 4,69 ; maladies respiratoires : 21,34 ; cancer du poumon : 1,28.

L'application de ces méthodes à l'échantillon de l'étude donne les résultats présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Nombre de cas attribuable de décès et de cas de morbidité dus aux différentes pathologies liées au PM_{2,5} engendré par la rénovation (échantillon de l'étude et échantillon de 100 000 habitants)

Indicateur d'impact sanitaire	Nombre de cas d'impact sanitaire attribuable (pour l'échantillon de l'étude)	IC 95% (Intervalle de Confiance) (pour l'échantillon de l'étude)	Nombre de cas d'impact sanitaire attribuable (pour 100 000 habitants)	IC 95% (pour 100 000 habitants)
Décès cause naturelle	0,0008537	0,0006460 - 0,0009562	3,2	2,4 - 3,5
Maladie cardiovasculaire	0,0018088	0,0014928 - 0,0022728	6,7	5,5 - 8,4
Maladie respiratoire	0,0010611	0,0009592- 0,0014604	3,9	3,6 - 5,4
Cancer du poumon (n'ayant pas conduit au décès dans l'année étudiée)	0,0001351	0,0001027- 0,0001563	0,5	0,4 - 0,6

Le Tableau 8 montre que l'augmentation du niveau de PM_{2,5} de **0,9 µg/m³** après rénovation a un impact sanitaire négatif, bien que relativement limité dans un échantillon de **27 habitants**. En effet, les estimations montrent qu'un très faible nombre de décès et de cas de maladies cardiovasculaires, respiratoires, et de cancers du poumon non mortels peuvent être attribués à cette augmentation. Par exemple, dans cet échantillon, **0,0008537** décès naturels supplémentaires, **0,0018088** cas de maladies cardiovasculaires, et **0,0010611** cas de maladies respiratoires sont attribuables à cette augmentation.

Cependant, lorsque ces résultats sont extrapolés à une population de **100 000 habitants**, toutes choses égales par ailleurs, l'impact devient plus significatif. On estime environ **3,2** décès supplémentaires (IC : 2,4 à 3,5), **6,7** cas de maladies cardiovasculaires supplémentaires (IC: 5,5 à 8,4), et **3,9** cas de maladies respiratoires supplémentaires (IC : 3,6 à 5,4) liés à cette augmentation des PM_{2,5}. Pour le cancer du poumon, bien que non mortel, on observe **0,5** cas supplémentaires pour 100 000 habitants (IC : 0,4 à 0,6). Ces résultats soulignent que même une légère augmentation des PM_{2,5} peut avoir des répercussions

sanitaires significatives à grande échelle, notamment en augmentant les risques de mortalité naturelle et de morbidité cardiovasculaire et respiratoire.

À partir des occurrences présentées dans les tableaux ci-dessus (Tableau 6 et Tableau 8), il est possible d'exprimer les impacts sanitaires en termes monétaires. C'est l'objet de la section suivante.

4. METHODE DE VALORISATION DES IMPACTS SANITAIRES LIES A LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR

4.1. Pourquoi et comment valoriser les risques sanitaires ?

La valorisation des effets sanitaires consiste à associer un équivalent monétaire à la modification de la situation sanitaire des individus. Une amélioration de la QAI et donc une diminution des risques de maladie correspond à une amélioration du bien-être des individus qui peut être par la suite traduite en valeur monétaire – un gain en euros. Symétriquement, la dégradation de la situation d'un individu peut être associée à une perte de bien-être qui peut également être valorisée.

Cette démarche de valorisation se justifie par la possibilité d'agréger les impacts sanitaires de différents polluants dans une même analyse. Il permet également d'agréger au sein d'un seul indicateur les gains obtenus en matière de réduction du risque de mortalité et du risque de morbidité fournissant ainsi un résultat global des impacts sanitaires d'amélioration de la QAI.

De la même façon, il est possible, pour un unique chantier de rénovation, de comparer les gains sanitaires obtenus aux gains d'économies d'énergie et de confort intérieur également évalués dans le cadre du projet QSE. Enfin, la valorisation permet de mettre en œuvre une analyse coût bénéfice qui compare les gains sanitaires aux investissements nécessaires pour obtenir ceux-ci.

Cette étude se concentre sur la valorisation des effets de la rénovation sur la qualité de l'air intérieur (QAI), définis comme le nombre de cas attribuables présentés dans les Tableau 6 et Tableau 8 ci-dessus.

**Valorisation de la variation du risque sanitaire =
(a) Valorisation du nombre de décès attribuables +
(b) Valorisation du nombre de cas de morbidité attribuables**

Cette méthode de valorisation repose sur l'utilisation de valeurs de référence (valeurs tutélaires) issues de rapports gouvernementaux, calculées par des études scientifiques antérieures ayant suivi des démarches similaires à celle entreprise ici, ou calculées par nos soins. Le Tableau 9 et Tableau 10 présente une synthèse des sources mobilisées.

Tableau 10 Sources mobilisées pour valoriser la variation du risque sanitaire

Source	Année	Type de document	Informations obtenues
Commission Quinet	2013	Recommandations	Valeur d'une Vie Statistique, Valeur d'une Année de Vie
Assurance Maladie	2021	Base de données (Cartographie des pathologies et des dépenses de santé)	Dépenses de la sécurité sociale par pathologie
O. Chanel	2023	Communication personnelle	Valeur économique des pertes de production
OCDE	2018	Base de données	Durée de séjour hospitalier
INSEE	2022	Résultats statistiques	Salaire journalier moyen
IHME	2021	Base de données (Global Burden of Disease – GBD)	Indicateurs sanitaires

4.2. Méthode de valorisation du risque de mortalité

Le risque de mortalité correspond au risque spécifique de décès lié à la présence d'un polluant dans l'air intérieur d'un logement et aux maladies qu'il peut provoquer. L'évaluation quantitative des bénéfices sanitaires liés à une réduction de la mortalité peut être exprimée soit en nombre de décès prématurés, soit en nombre d'années de vie perdues⁸. Ces deux approches ne sont toutefois pas cumulatives.

Comme dans la plupart des études, le choix a été fait ici de s'appuyer sur le nombre de décès prématurés. La réduction du risque de décès est ainsi associée à un certain nombre de vie sauvées, qui sont à leur tour valorisées en s'appuyant sur l'utilisation d'une valeur de référence pour la vie humaine. En l'occurrence, cette étude utilise la Valeur d'une Vie Statistique (VVS) recommandée par le rapport Quinet en France, fixée à 3 millions d'euros en 2010, soit 3 428 000 € en 2023⁹.

Ainsi, le produit de la variation du risque par cette valeur de référence permet d'obtenir une estimation monétaire du changement de risque de mortalité lié à la modification de la qualité de l'air intérieur (QAI).

**(a) Valorisation de la variation du risque de mortalité =
VVS × réduction (ou augmentation) du nombre de décès attribuables à la rénovation**

⁸ Voir par exemple Chanel et al., 2020

⁹ Actualisation selon l'évolution du taux de croissance du PIB/tête suivant la recommandation du rapport Quinet, 2013.

4.3. Méthode de valorisation du risque de morbidité

a) Comment valoriser le risque de morbidité ?

Le risque de morbidité correspond ici au risque de maladie suite à l'exposition à un polluant de l'air intérieur. Les coûts d'un épisode morbide peuvent être directs ou indirects, marchands ou non marchands, ou encore supportés collectivement ou individuellement.

Le fait d'être malade a plusieurs conséquences négatives, qui peuvent être classées ainsi :

- Des coûts médicaux directs, qui sont à la charge de l'individu ou de la collectivité (Assurance Maladie, mutuelles),
- Une perte de production indirecte (absence/réduction de revenu) pour l'individu, qui peut éventuellement être compensée par l'employeur ou la collectivité.
- Une perte de bien-être engendrée par la maladie, pour l'individu concerné et ses proches, qui relève du domaine non-marchand

La valorisation du risque de morbidité consiste à comptabiliser les composantes relevant du secteur marchand (coûts médicaux directs et pertes de production) et à associer à la perte de bien-être une valeur monétaire.

$$\text{(b) valorisation du risque de morbidité} = \text{coût des dépenses de santé} + \text{valorisation des pertes de production} + \text{valorisation des pertes de bien-être}$$

b) Valorisation des pertes de bien être

La valorisation de la perte de bien-être engendrée par la maladie repose sur le concept du DALY (Disability Adjusted Life Year), en mobilisant les données épidémiologiques du Global Burden of Disease (GBD) publiées par l'IHME (2021). Ce concept associe à une maladie un certain nombre d'années de vie perdues, que ce soit en raison d'un décès prématuré (YLL – *Years of Life Lost*) ou d'une période de vie vécue en mauvaise santé/incapacité (YLD – *Years Lost due to Disability*).

Afin d'éviter le double comptage avec les effets sur la mortalité, seules les années de vie vécues avec incapacité sont valorisées. Le coefficient d'incapacité (DW pour *Disability Weight*) reflète la sévérité de la maladie ou l'incapacité à réaliser certaines activités quotidiennes en raison de la maladie. Ce coefficient varie entre 0 (absence d'incapacité, autrement dit parfaite santé) et 1 (incapacité totale, autrement dit décès). A partir des données de l'IHME (2021), les DW annuels par personne malade ont été calculés en divisant les YLD à l'échelle de la population par la prévalence de la maladie¹⁰, et sont présentés dans le tableau 9 suivant.

¹⁰ D. Zhao et al., 2015 utilise la même démarche pour le calcul du DALY par personne.

Les DW correspondants au cancer du poumon, aux maladies cardiovasculaires et aux maladies respiratoires sont respectivement de 0,13, 0,061 et 0,037 année par an (IHME, 2021).

En général, une valeur spécifique pour un DALY ou un QALY est utilisée, bien qu'elle n'existe pas officiellement en France. La Haute Autorité de Santé (HAS) indique toutefois que la valeur implicite pour les QALY dans les études varie entre 30 000 et 50 000 euros (HAS, 2020). Cette fourchette est alignée avec les recommandations britanniques du *National Institute for Health and Care Excellence* (NICE) et des études qui estiment la valeur d'un DALY à partir du PIB par habitant, ajusté par un facteur de 1,46 pour les pays à très haut indice de développement humain, selon Daroudi et al. (2021). Pour la France, cela correspondrait à 34 100 euros (PIB par habitant en 2020) multiplié par 1,46, soit environ 49 786 euros.

En l'absence de valeur officielle en France pour un DALY, les années de vie ainsi perdues sont valorisées en utilisant la valeur d'une année de vie (VAV), fixée par la Commission Quinet (2013) à 115 000 euros en 2010, soit 131 000 euros en 2023. Une analyse de sensibilité avec une VAV réduite de moitié est recommandée pour tenir compte de l'incertitude entourant cette estimation (Meurisse, B & I., 2022). Le tableau suivant (Tableau 10) présente les résultats pour chacune des pathologies étudiées.

Tableau 11 : Coefficient d'incapacité et valeur monétaire annuelle de la perte de bien-être associée

Pathologie	Coefficient d'incapacité (Disability Weight)	Perte de bien-être annuelle par cas
Maladie cardiovasculaire	0,061	7 953
Maladie respiratoire	0,037	4 911
Cancer du poumon	0,13	17 093

Source : calculs des auteurs à partir du GBD (2021) ; Rapport Quinet (2013)

c) Valorisation du coût lié aux pertes de production

La valorisation des pertes de production repose, pour le cancer du poumon, sur l'estimation (pour les personnes âgées de plus de 35 ans) de 9 000 euros (pour une durée moyenne de maladie de 2,2 années), soit environ 4 091 euros par an (communication personnelle d'Olivier Chanel, 2023).

Pour les autres valeurs des pertes de production, l'approche adoptée consiste à utiliser le salaire journalier moyen comme « proxy » du coût d'une journée non travaillée. Cette méthode est couramment utilisée dans des études similaires. Elle consiste à multiplier le salaire journalier moyen par la durée d'incapacité, c'est-à-dire la période pendant laquelle le travailleur est incapable de travailler. La durée d'incapacité est souvent estimée en doublant la période moyenne d'hospitalisation pour chaque maladie (voir formule suivante).

$$Perte\ de\ production = Dur\ ee\ moyenne\ d'\ hospitalisation \times 2 \times Salaire\ journalier\ moyen$$

L'OCDE (2023) rapporte qu'en France, les durées moyennes d'hospitalisation en 2018 sont de 6,8 jours par hospitalisation pour les « causes respiratoires » et de 6,5 jours pour les « causes cardiovasculaires ». D'après les données de l'INSEE (2023), le salaire journalier moyen en France est estimé à 87 euros net pour l'ensemble des salariés (secteur privé et fonction publique confondus)¹¹. Ainsi, l'application de la formule ci-dessus donne les résultats présentés dans le Tableau 121.

Tableau 12 : Valeur économique annuelle des pertes de production pour un cas incident

Pathologie	Perte de production
Maladie cardio-vasculaire	1 131 €
Maladie respiratoire	1 183 €
Cancer du poumon	4 091 €

Source : O. Chanel, 2023 ; Nos propres calculs

d) Valorisation des dépenses de santé

La valorisation des dépenses de santé repose sur les données de la Sécurité sociale par pathologie, tirées de la *Cartographie des pathologies et des dépenses de l'Assurance Maladie*. Cette base de données fournit une estimation annuelle des dépenses par cas, incluant l'ensemble des postes (soins de ville, médicaments, hospitalisations, etc.) liés à diverses pathologies. Voici quelques exemples des coûts annuels pris en charge par la Sécurité sociale pour des pathologies en lien avec la qualité de l'air intérieur (QAI) : cancer du poumon : 18 929 € par personne en 2022, maladies cardio-vasculaires : 3 684 € par personne en 2022, maladies respiratoires chroniques : 1 053 € par personne en 2022. Ces valeurs ont été actualisées à l'aide de l'indice des prix à la consommation de soins et de biens médicaux en France. Les valeurs actualisées pour 2023 (soit une augmentation de 3,7 % entre 2022 et 2023) sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 132).

Tableau 13 : Dépenses de santé annuelle par cas incident (euros 2023)

Pathologie	Dépenses de santé
Maladies respiratoires chroniques (hors mucoviscidose)	1 092 €
Cancer bronchopulmonaire	19 629 €
Maladies cardionerveuses	3 820 €

Source : Assurance Maladie, Cartographie des pathologies et des dépenses de l'Assurance Maladie (2022). Actualisation à l'aide de l'indice d'évolution des services médicaux (INSEE, 2023).

¹¹ En 2023, les données de l'INSEE indiquent un salaire moyen mensuel de 2 587 euros en France, nets de cotisations et de contributions sociales.

5. RESULTATS : VALORISATION DES GAINS OBSERVES

5.1. Radon : valorisation des gains sanitaires

Le Tableau 143 présente les résultats de la valorisation économique des effets sanitaires du radon par individu, par ménage et pour l'ensemble des ménages de l'échantillon.

Tableau 14 : Radon : Gain sanitaire annuel en euros lié à la mortalité et à la morbidité avec intervalles de confiance (IC95%)

Indicateur d'impact sanitaire	Gain sanitaire en euros	IC95%*
Ensemble		
- Mortalité (cancer du poumon)	3 788 €	1 258 € - 6 791 €
- Morbidité (cancer du poumon)	58 €	19 € - 104 €
Total ensemble	3 846 €	1 277 € - 6 894 €
Par ménage		
- Mortalité (cancer du poumon)	758 €	252 € - 1 358 €
- Morbidité (cancer du poumon)	12 €	4 € - 21 €
Total par ménage	769 €	255 € - 1 379 €
Par individu		
- Mortalité (cancer du poumon)	210 €	70 € - 377 €
- Morbidité (cancer du poumon)	3 €	1 € - 6 €
Total par individu	214 €	71 € - 383 €

* Les IC95% des totaux représentent la somme des IC95% pour la mortalité et la morbidité.

Le Tableau 143 présente le gain sanitaire en euros lié à la réduction des risques de mortalité et de morbidité (perte de bien-être + perte de production + dépenses de santé) attribuables à la baisse du niveau d'exposition au radon après la rénovation (-58,9 Bq/m³), avec des intervalles de confiance (IC95%) pour chaque indicateur.

L'interprétation est la suivante. Pour l'ensemble de l'échantillon de l'étude :

- **Mortalité** : Le gain sanitaire total lié à la réduction du risque de mortalité est estimé à **3 788 €** par an par l'amélioration de la qualité de l'air grâce à la rénovation. L'intervalle de confiance pour cette estimation varie entre **1 258 €** et **6 791 €**, mais la tendance est claire : la réduction de la mortalité apporte des gains sanitaires significatifs.
- **Morbidité** : Le gain sanitaire lié à la réduction des maladies non mortelles est bien plus faible, à **58 €**, avec un intervalle de confiance allant de **19 €** à **104 €**. Cela inclut les coûts liés à la perte de bien-être, à la perte de production et aux dépenses de santé.
- **Total** : En combinant les deux, le gain sanitaire total pour l'ensemble est estimé à **3 846 €** (IC95% : **1 277 € - 6 894 €**). La réduction des risques de mortalité est le principal contributeur à ce gain global.

Si l'on étudie les résultats **par ménage**, le gain total en euros lié à la réduction des risques de mortalité et de morbidité attribuables au radon est de **769 €** par ménage, avec un intervalle de confiance compris entre **255 €** et **1 379 €**. À l'échelle **individuelle**, ce gain est de **214 €** par personne, avec un intervalle de confiance allant de **71 €** à **383 €**.

En résumé, sur l'échantillon considéré, la réduction de l'exposition au radon génère des gains sanitaires économiques significatifs, tant au niveau des ménages que des individus, avec la réduction des décès représentant la majeure partie de ce gain.

5.2. PM_{2,5} : valorisation des gains (coûts) sanitaires

Le Tableau 154 présente les résultats de l'évaluation économique des impacts sanitaires liés à une légère augmentation de **0,9 µg/m³** du niveau de pollution par les particules fines PM_{2,5} après la rénovation. Il quantifie les gains sanitaires négatifs, c'est-à-dire les **coûts associés** à cette hausse de pollution, en fonction de la mortalité et de la morbidité.

Tableau 15 : PM_{2,5} : Coûts sanitaire annuel en euros lié à la mortalité et à la morbidité avec intervalles de confiance (IC95%)

Indicateur d'impact sanitaire	Valeur monétaire	IC95%*
Ensemble		
- Décès cause naturelle (mortalité)	2 927	2 215 – 3 278
- Maladie cardiovasculaire (morbidité)	23	19,26 - 29,33
- Maladie respiratoire (morbidité)	8	6,89 - 10,49
- Cancer du poumon (morbidité)	6	4,19 - 6,38
Total ensemble	2 963	2 245 – 3 324
Par ménage		
- Décès cause naturelle (mortalité)	244	185 - 273
- Maladie cardiovasculaire (morbidité)	2	2 - 2
- Maladie respiratoire (morbidité)	1	1 - 1
- Cancer du poumon (morbidité)	0	0 - 1
Total par ménage	247	187 - 277
Par individu		
- Décès cause naturelle (mortalité)	108,4	82,0 - 121,4
- Maladie cardiovasculaire (morbidité)	0,9	0,7 - 1,1
- Maladie respiratoire (morbidité)	0,3	0,3 - 0,4
- Cancer du poumon (morbidité)	0,2	0,2 - 0,2
Total par individu	110	83 - 123

* Les IC95% des totaux représentent la somme des IC95% pour la mortalité et la morbidité.

Le Tableau 154 s'interprète de la même façon que le tableau 11.

Globalement, l'impact sanitaire total est estimé à **2 963 € par an** pour l'ensemble des cas, avec un intervalle de confiance allant de **2245 €** à **3324 €**. La majorité de ce coût est liée à la mortalité due aux maladies naturelles, représentant **2 927 €** (soit 98.8% du total).

En ce qui concerne la **morbidité**, les maladies cardiovasculaires, respiratoires et le cancer du poumon représentent un coût combiné relativement faible. Pour l'ensemble, la morbidité coûte **36 € par an**, incluant **23 €** pour les maladies cardiovasculaires, **8 €** pour les maladies respiratoires, et **6 €** pour le cancer du poumon.

À l'échelle des ménages, l'impact total est de **247 €**, dont la majorité est liée à la mortalité (**244 €**), avec un impact minimal des maladies non mortelles. À l'échelle individuelle, l'impact total est de **110 €**, avec **108 €** liés à la mortalité et moins de **2 €** pour la morbidité.

En résumé, bien que nous estimions que la hausse des niveaux de PM_{2,5} entraîne un léger impact sur les maladies non mortelles, l'essentiel des effets sanitaires négatifs concerne la mortalité. L'augmentation de la pollution après rénovation génère ainsi des coûts économiques importants, principalement liés aux décès prématurés.

5.3. Illustration d'un logement ayant bénéficié d'une réduction des concentrations de radon et de PM_{2,5} après rénovation

Un seul logement (logement B) a bénéficié d'une réduction des niveaux de radon et de PM_{2,5} après rénovation, avec les valeurs suivantes :

- Réduction du radon : 108,1 Bq/m³
- Réduction du PM_{2,5} : 0,7 µg/m³

Le logement est occupé par deux personnes, âgées de 31 et 69 ans.

Le Tableau 165 présente les résultats obtenus en appliquant la méthode de valorisation à ce logement.

Tableau 16 : Gain sanitaire annuel en euros lié à la mortalité et à la morbidité évitées grâce à la réduction du niveau de radon et de PM_{2,5}, avec intervalles de confiance (IC95%)

Indicateur d'impact sanitaire	Valeur monétaire	IC95%
Par ménage	1 535 €	747 – 2 307 €
Par individu	767 €	373 – 1154 €

Ainsi, les améliorations apportées dans ce logement ont une valeur sanitaire et économique significative pour ses occupants. La réduction des niveaux de radon et de PM_{2,5} est associée à une valorisation monétaire de 1 535 € pour l'ensemble du ménage, avec un intervalle de confiance à 95 % compris entre 747 € et 2 307 €. En ce qui concerne la valorisation par individu, elle est donc estimée à 767 €, avec un intervalle de confiance à 95 % variant de 373 € à 1 154 €.

CONCLUSIONS

Cette étude avait pour objectif de valoriser économiquement les impacts sanitaires de la rénovation énergétique. Cela est réalisé en se basant sur l'exploitation des données QAI de l'échantillon de logements enquêtés avant et après rénovation dans le cadre du projet Qualité Sanitaire et Energétique des rénovations (QSE). La méthode adoptée repose sur une valorisation monétaire des effets sanitaires, en utilisant des fonctions dose-réponse issues de la littérature scientifique. Elle prend en compte la mortalité et la morbidité, intégrant plusieurs dimensions : les pertes de production, la perte de bien-être, ainsi que les dépenses de santé supportées par la collectivité (Assurance Maladie, mutuelles de santé) ou l'individu (reste à charge non remboursé).

Les résultats montrent clairement que les travaux de rénovation ayant pour objectif principal la réduction des consommations énergétiques ont des impacts sur la qualité de l'air intérieur et donc sur la santé des occupants. Ces travaux ont conduit à la réduction des niveaux de radon, apportent des bénéfices sanitaires significatifs pour les occupants. Une baisse du niveau de radon de $58,9 \text{ Bq/m}^3$ se traduit par un gain sanitaire estimé à **769 euros par ménage** (soit **214 euros par habitant**).

Cependant, bien que la réduction des niveaux de radon ait apporté des bénéfices notables, une légère augmentation des niveaux de $\text{PM}_{2,5}$ a entraîné une dégradation de la qualité de l'air intérieur, avec des conséquences sanitaires négatives. Cette hausse de $0,9 \mu\text{g/m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ se traduit par un **coût sanitaire de 247 euros par ménage par an** (soit **110 euros par occupant**).

Ces impacts sont principalement liés à l'augmentation des risques de mortalité, mais touchent également la morbidité, en particulier les maladies cardiovasculaires, respiratoires et le cancer du poumon.

Les gains et les coûts sanitaires observés, traduits en termes monétaires, soulignent l'importance cruciale d'intégrer des critères de santé publique dans les programmes de rénovation énergétique.

Ainsi, bien que ces programmes aient le potentiel d'apporter des bénéfices substantiels pour la santé publique, les résultats soulignent la nécessité de ne pas compromettre la qualité de l'air intérieur au profit de la performance énergétique. En l'absence de précautions adéquates, la réduction des consommations énergétiques peut s'accompagner de coûts sanitaires liés à une dégradation de l'air intérieur, comme dans le cas de l'augmentation des $\text{PM}_{2,5}$. Des études sur un plus grand échantillon permettrait sans doute de déterminer s'il s'agit d'une tendance générale, ou d'une particularité des logements étudiés. Il est donc indispensable d'intégrer des critères de santé dès la conception des projets de rénovation pour maximiser les bénéfices environnementaux, économiques et sanitaires.

En termes de limites, certains coûts et bénéfices n'ont pas été pris en compte dans cette étude. Par exemple, les avantages pour les finances publiques, tels que la réduction des pensions non versées en raison de la diminution de la mortalité prématurée, ne figurent pas

dans l'analyse. D'autres éléments d'incertitude subsistent, notamment autour de la valorisation des décès prématurés, des pertes de production, des hypothèses sur la linéarité des fonctions exposition-réponse, ce qui ouvre des pistes pour des recherches futures visant à étendre l'évaluation des impacts socio-économiques de la rénovation énergétique.

Par ailleurs, puisqu'il s'agit d'effets à long terme (vie entière pour le radon, plusieurs années pour les PM_{2,5}), les calculs au niveau individuel supposent que les habitants ont toujours résidé dans un logement rénové, et y ont été exposés aux niveaux observés. C'est donc une évaluation des effets hypothétiques à long terme, même si l'on peut admettre que la rénovation d'un logement pourra bénéficier à ses futurs habitants.

Enfin, cette valorisation ne concerne que les gains sanitaires liés à l'exposition au radon et aux PM_{2,5}. Une approche économique globale devrait prendre en compte les gains liés au confort acoustique (bruit intérieur et extérieur), thermique (confort ressenti) et olfactif, ainsi qu'à la réduction de l'humidité (et des potentiels gains sanitaires associés aux maladies respiratoires). De plus, la baisse des dépenses énergétiques, tant en termes de gains monétaires pour les habitants que de bénéfices en termes de réduction des émissions de combustibles fossiles, devraient être évalués.

Au final, poursuivre ce type d'évaluation est essentiel pour éclairer les décideurs publics et les investisseurs sur les bénéfices à long terme que ces projets apportent, tant pour les ménages que pour la société dans son ensemble.

BIBLIOGRAPHIE

Ajrouché, R., Roudier, C., Cléro, E., et al. (2018). Quantitative health impact of indoor radon in France. *Radiation and Environmental Biophysics*, 57, 205–214. <https://doi.org/10.1007/s00411-018-0741-x>.

Anses, ABM, CSTB. (2014). Étude exploratoire du coût socio-économique des polluants de l'air intérieur. Édition scientifique, 96 p.

CGDD, 2013. Quelles valeurs monétaires pour les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique ? Enjeux, limites et perspectives. Document méthodologique [En ligne]. Disponible : <https://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0078/Temis-0078334/20708.pdf>

Chanel, O., Medina, S., Pascal, M. (2020). Évaluation économique de la mortalité liée à la pollution atmosphérique en France. *Journal de gestion et d'économie de la santé*, 38 (2), pp.77-92. ff10.3917/jges.202.0077ff. ffhal-03087221

Chen J., Hoek G. (2020). Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environmental International*, 143, 105974. doi: 10.1016/j.envint.2020.105974.

Commissariat général à la stratégie et à la prospective (Rapport Quinet). (2013). La prise en compte du bruit dans les investissements de transport. Tome 2, « L'évaluation socioéconomique des investissements publics », rapport du Groupe de travail présidé par Émile Quinet, 38 p.

Darby S, Hill D, Deo H, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Falk R, Farchi S, Figueiras A, Hakama M, Heid I, Hunter N, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Makelainen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruosteenoja E, Rosario AS, Tirmarche M, Tomasek L, Whitley E, Wichmann HE, Doll R (2006). Residential radon and lung cancer—detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scand J Work Environ Health* 32(Suppl 1):1–83

Darby S., Hill D., Auvinen A., Barros-Dios JM., Baysson H., Bochicchio F., et al. (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*, 330:223-8.

Defossez G., Le Guyader Peyrou S., Uhry Z., Grosclaude P., Colonna M., Dantony E., et al. (2019). Estimations nationales de l'incidence et de la mortalité par cancer en France métropolitaine entre 1990 et 2018. Synthèse. Saint Maurice : Santé publique France, 20 p. Disponible à : <http://www.santepubliquefrance.fr> ; <https://geodes.santepubliquefrance.fr> ; <http://lesdonnees.e-cancer.fr> ; <https://www.e-cancer.fr>

Delafosse P., Defossez G., Molinié F., D'Almeida T., Lecoffre C., Lafay L. Mounier M. , Coureau G. et Trétarr B. Survie des personnes atteintes de cancer en France métropolitaine 1989-2018. POUMON. Etude collaborative partenariale entre le réseau français des registres des cancers (Francim), le service de Biostatistique Bioinformatique des Hospices civils de Lyon (HCL), Santé publique France et l'Institut national du cancer (INCa), 12p.

Meurisse, B., Dervaux, B., Rochaix, L., Robinet, A., Banoun, S., Domergue, S. & Ni, J. (2022). L'évaluation socioéconomique des effets de santé des projets d'investissement public France Stratégie-Commissariat général à la stratégie et à la prospective, Mars, 322 p.

OCDE. Site de statistiques de l'OCDE, <https://stats.oecd.org/Index.aspx?ThemeTreeld=9> (accédé le 25 septembre 2024).

Quinet E. (2013), *L'évaluation socioéconomique des investissements publics*, rapport de la mission présidée par Émile Quinet, Commissariat général à stratégie et à la prospective, Paris, La Documentation française.

Quinet, E., Baumstark, L., Bonnet, J., Croq, A., Ducos, G., Meunier, D., Rigard-Cerison, A., Roquigny, Q. (2013). L'évaluation socioéconomique des investissements publics. Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective, 352 p.

World Health Organization (WHO). (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

World Health Organization. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. World Health Organization, Regional Office for Europe. ISBN: 9789289002134.

D. Zhao et al.(2015). Evaluating the Long-Term Health and Economic Impacts of Central Residential Air Filtration for Reducing Premature Mortality Associated with Indoor Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) of Outdoor Origin [En ligne]. <https://www.mdpi.com/1660-4601/12/7/8448>

Zeghnoun A., Dor F. (2009). Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement. INVS/OQAI.

Daroudi, R., Akbari Sari, A., Nahvijou, A., & Faramarzi, A. (2021). Cost per DALY averted in low, middle-and high-income countries: evidence from the global burden of disease study to estimate the cost-effectiveness thresholds. *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 19(1), 1-9.

HAS, 2020. Choix méthodologiques pour l'évaluation économique à la HAS.

Site internet

<https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/environnement/dou-vient-radon>

<https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/189662/2330878>

Cartographie des pathologies et des dépenses de l'Assurance Maladie : <https://assurance-maladie.ameli.fr/etudes-et-donnees/par-theme/pathologies/cartographie-assurance-maladie>

Global Burden of Disease : <https://www.healthdata.org/research-analysis/gbd>

Données sur population en 2021 : <https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/chiffres/france/structure-population/population-ages/>

Données sur la mortalité : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortalit%C3%A9_en_France#cite_note-95

GLOSSAIRE

ATIH	Agence Technique de l'Information sur l'Hospitalisation
DALY	Disability Adjusted Life Years
YLDs	Years of healthy life lost due to disability
YLLs	Years of life lost
IHME	Institute for Health Metrics and Evaluation
GBD	Global Burden of Disease
RR	Relative Risk ou Risk Ratio
ERUi	Excès de Risque Unitaire par inhalation