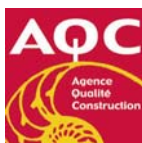


500 maisons rénovées basse consommation

*Enseignements opérationnels des programmes
« Je rénove BBC » en Alsace*



Fascicule D : le bilan carbone des rénovations énergétiques



Fascicule D - juin 2017

Le secteur du bâtiment constitue une part importante des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre. Si l'intérêt des programmes de rénovation « JRBBBC » est d'obtenir des bâtiments à plus faible consommation énergétique et à moindre émission de gaz à effet de serre (GES) en phase exploitation (consommations réglementaires de chauffage, ECS, ventilation, éclairage, climatisation...), il convient aussi d'analyser l'impact environnemental des phases liées aux travaux (production des matériaux, transport sur site, mise en œuvre...)

Évaluer et analyser l'impact environnemental global des travaux de rénovation énergétique constitue l'enjeu de ce fascicule. Il s'agit ici d'analyser le bilan carbone global de la rénovation énergétique, en considérant un ensemble large de « contributeurs » : déplacements, matériaux mis en œuvre, énergie consommée...

Nous présentons dans un premier temps la démarche « bilan carbone » qui a été suivie pour évaluer l'impact des chantiers de rénovation. Puis nous analysons les émissions liées aux consommations énergétiques conventionnelles, avant d'étudier une notion de temps de retour « carbone » de la rénovation énergétique.

SOMMAIRE

DÉMARCHE DU BILAN CARBONE DES TRAVAUX DE RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE.....	3
Méthodologie du bilan carbone.....	3
Descriptif des maisons types utilisées pour le bilan carbone.....	5
Descriptif des lots de travaux types utilisés pour le bilan carbone.....	6
Précautions à prendre avec les résultats.....	6
ANALYSE DU BILAN CARBONE DES TRAVAUX DE RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE.....	7
Analyse de la part des différents contributeurs de GES.....	8
Analyse de la part des différents lots.....	8
Les pistes d'amélioration du bilan carbone des travaux de rénovation.....	9
LE BILAN CARBONE DES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES AVANT ET APRÈS TRAVAUX	10
LE TEMPS DE RETOUR « CARBONE » DE LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE	12
ANNEXE : DÉTAIL DU CALCUL D'UN BILAN CARBONE.....	13



DÉMARCHE DU BILAN CARBONE DES TRAVAUX DE RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

Méthodologie du bilan carbone

Pour évaluer l'impact environnemental de la rénovation énergétique, le choix a été fait d'utiliser la méthode « Bilan carbone » de l'Ademe. Cette méthode a été choisie au regard des objectifs du programme (réduire les émissions de GES) et en raison de la lisibilité qu'elle présente pour l'exploitation des résultats : seules les émissions de GES sont ici évaluées.

Cette méthode comptabilise en effet les émissions directes et indirectes de différents contributeurs, converties via des facteurs d'émissions. **Il est important de mentionner que les résultats obtenus constituent des estimations, non des mesures, avec parfois une incertitude importante.** En comparaison avec une méthode de type analyse de cycle de vie (ACV), la méthode « Bilan carbone »

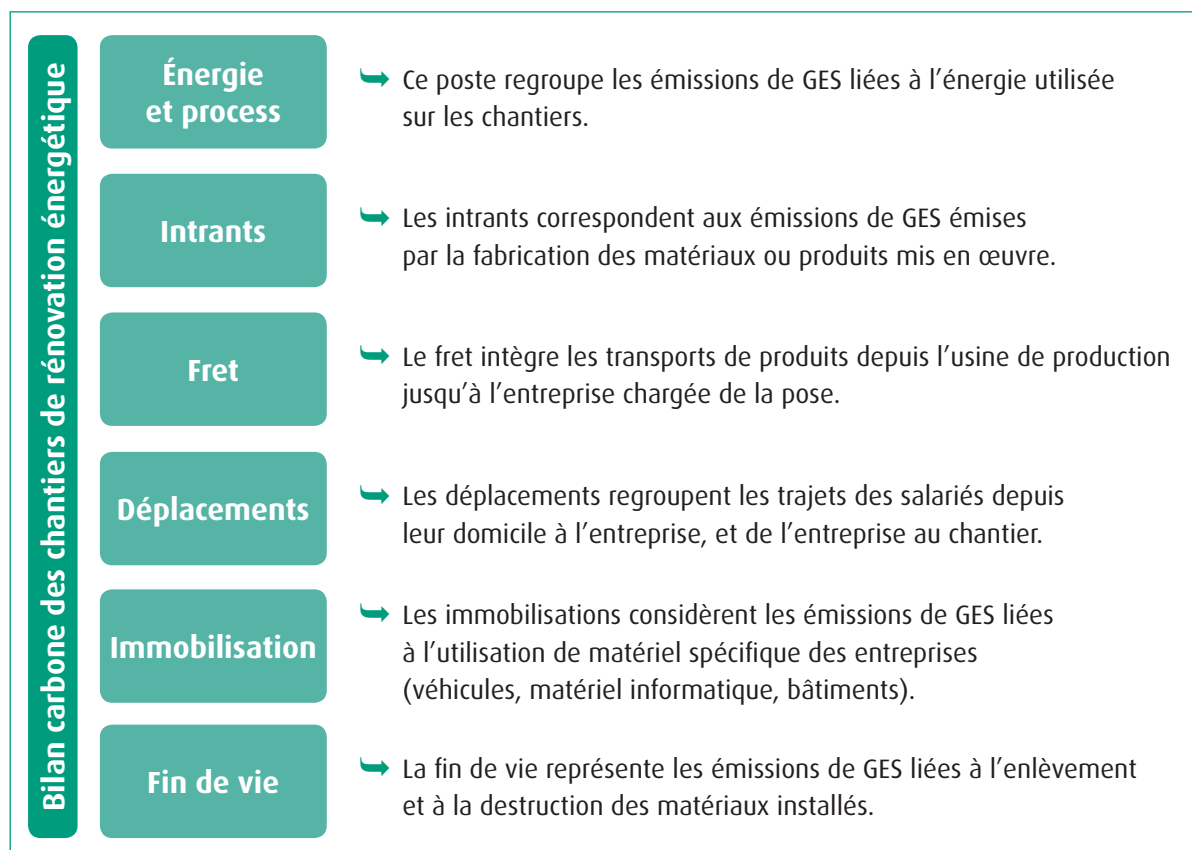
n'intègre pas d'autres impacts environnementaux tels que la production de déchets ou encore la consommation d'eau.

■ Périmètre du bilan carbone

L'outil bilan carbone de l'Ademe, prenant la forme d'un tableur, a été développé pour pouvoir quantifier les émissions de gaz à effet de serre d'une activité donnée, selon un ensemble de contributeurs (postes d'émission de GES).

Une des principales difficultés d'un bilan carbone réside dans la détermination de ces contributeurs, afin de définir un périmètre d'étude le plus pertinent possible.

Dans le cas de travaux de rénovation énergétique, notre choix s'est tourné vers les six contributeurs de GES présentés ci-dessous :



N.B. : Le périmètre considéré ne tient pas compte des produits sortant du chantier (enlèvement, fin de vie des matériaux déposés, etc.).

L'étude réalisée porte sur un ensemble de chantiers de rénovation suivis par EDF et ES dans l'Alsace entière (soit précisément 111 chantiers exploitables au moment de l'étude).

Dans l'impossibilité matérielle de réaliser un bilan carbone propre à chaque chantier, une méthode alternative a été utilisée.

■ **Méthode suivie pour le bilan carbone général des chantiers de rénovation énergétique**

Cette méthode consiste à **effectuer des bilans carbone « types »**, en croisant :

- **une typologie de maisons**¹ représentatives des modes constructifs rencontrés dans le cadre des programmes « JRBB » ;
- **avec une typologie de lots de travaux** représentatifs des entreprises et des matériaux mis en œuvre dans le cadre des programmes « JRBB ».

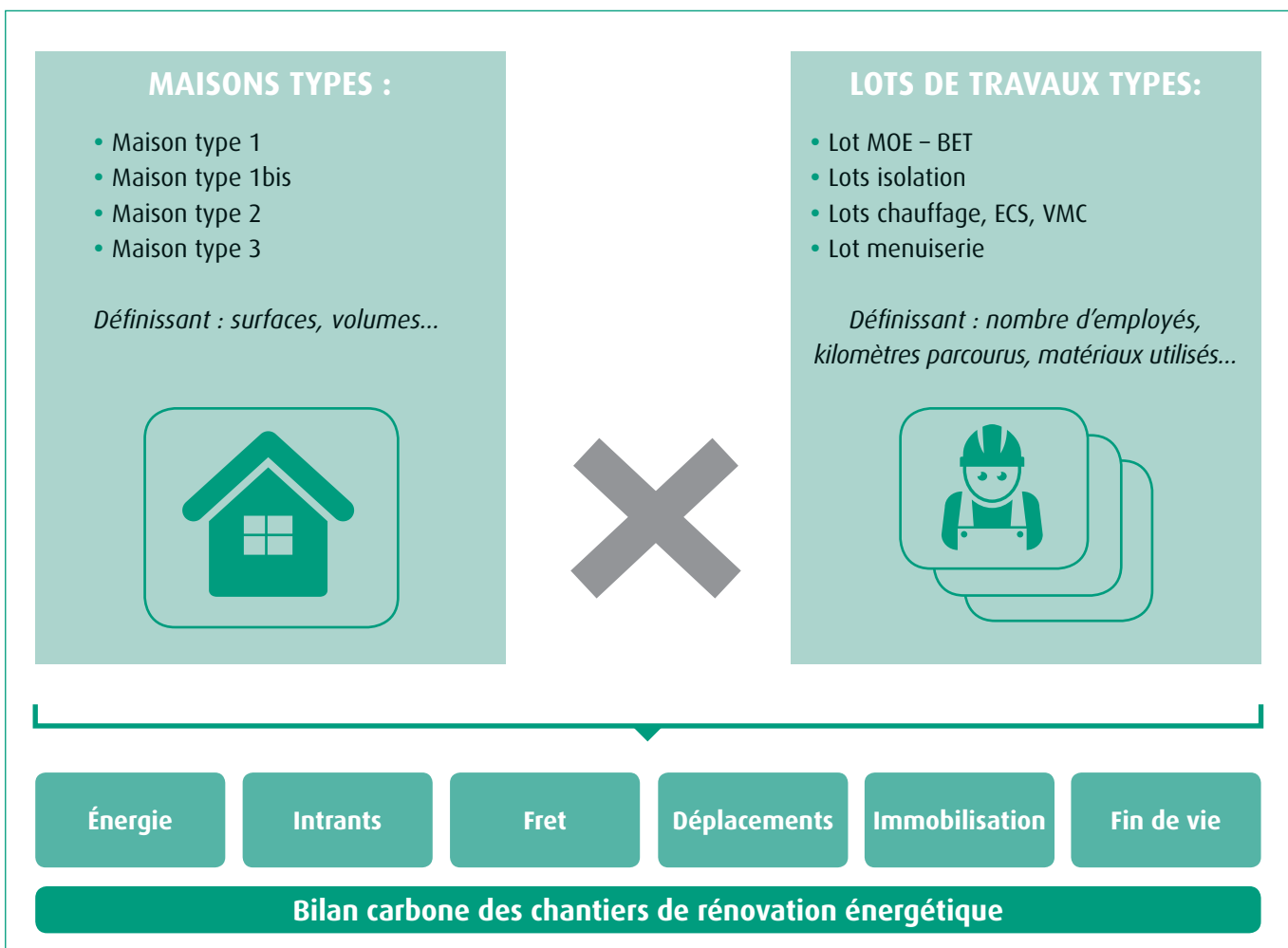


Figure 1 : Schéma général de la méthode suivie pour le bilan carbone des chantiers de rénovation énergétique.

¹ Ces typologies sont spécifiques au fascicule D. Elles diffèrent de celles présentées dans d'autres fascicules.

Nous présentons ci-dessous les descriptifs des maisons types et des travaux types considérés dans l'étude.

Descriptif des maisons types utilisées pour le bilan carbone

Une typologie des maisons du programme a été définie sur la base de critères constructifs :

- forme architecturale ;
- époque de construction ;
- système constructif.

Quatre types de maisons ont ainsi été définis et sont présentés ci-dessous.

Chaque type est illustré par un cas qui a permis de définir les données moyennes nécessaires au calcul du bilan carbone : surfaces, volumétries, etc.

NB. Le nombre total de chantiers étudiés au travers de ces maisons types retenues est de 111.

Typologie	Période de construction	Système constructif	Forme architecturale
MAISON TYPE 1 Nombre d'occurrences sur le panel : 46	1940 -1970	Briques	Maison avec combles habités 
MAISON TYPE 1bis Nombre d'occurrences sur le panel : 21			Maison avec combles non habités 
MAISON TYPE 2 Nombre d'occurrences sur le panel : 24	1900 -1970	Pierres et/ou briques	Maison de maître 
MAISON TYPE 3 Nombre d'occurrences sur le panel : 20	Avant 1900	Pans de bois	Maison à pans de bois 

Figure 2 : tableau des maisons types considérées dans l'étude

Descriptif des lots de travaux types utilisés pour le bilan carbone

Pour chaque maison type définie ci-dessus, il a été nécessaire de définir un ensemble de **lots de travaux types**, permettant ainsi, de manière globale, de quantifier les émissions de GES de l'ensemble des chantiers de rénovation.

Les travaux types considérés incluent les travaux énergétiques et les travaux induits tels que la peinture, les revêtements...

Ils ont été définis selon la nomenclature suivante :

- lots d'isolation (murs, combles, plancher bas) ;
- lot menuiserie ;
- lot chauffage ;
- lot ECS ;
- lot ventilation (VMC) ;
- lot maîtrise d'œuvre (MOE) et BET.

Ainsi, **pour chaque maison type et pour chacun de ces lots**, des études et des enquêtes spécifiques ont été réalisées pour déterminer les impacts d'émissions de GES des entreprises et des matériaux et produits mis en œuvre.

■ *S'agissant des entreprises*

Les données nécessaires aux déplacements, au temps de travail, au nombre d'employés, à la durée des chantiers ont été obtenues à partir d'enquêtes et de questionnaires auprès des entreprises intervenues dans le programme.

■ *S'agissant des matériaux et produits de construction*

Les matériaux et produits pris en compte dans le calcul sont ceux réellement installés pour l'ensemble des maisons de chaque type.

Les facteurs d'émission de GES de ces différents produits figurent a priori dans la base de données de l'outil bilan carbone de l'Ademe. Néanmoins, elle n'inclut que peu de matériaux de construction, en particulier en ce qui concerne les isolants.

Une nouvelle base de données a donc été créée dans le cadre de cette étude, en répertoriant les matériaux et produits utilisés sur chaque maison type et leurs occurrences.

Les émissions de GES liés à la fabrication de ces matériaux et produits ont été obtenues à partir des fiches de déclaration environnementales et sanitaires (FDES) ou des profils environnementaux produits (PEP) qui figurent dans la base de données nationale INIES².

N. B. : Nous présentons, **en annexe de ce fascicule**, un exemple détaillé de calcul d'un bilan carbone pour un type de maison (type 1) et un lot de travaux types (lot isolation extérieure des murs).

Précautions à prendre avec les résultats

Les résultats exposés dans ce fascicule présentent une certaine incertitude.

Ces incertitudes, inhérentes à la méthode bilan carbone, reposent à la fois sur les données d'activités et les facteurs d'émissions.

S'agissant des données d'activités, des choix méthodologiques, explicités ci-dessus, ont consisté à définir des maisons types et autres lots types de travaux, permettant d'obtenir notamment des déplacements moyens des entreprises.

S'agissant des facteurs d'émissions, les hypothèses prises concernent notamment les estimations des émissions des matériaux, issues de la base de données nationale INIES.

² <http://www.inies.fr/accueil/>



ANALYSE DU BILAN CARBONE DES TRAVAUX DE RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

Dans le cadre de cette analyse, l'unité « tonnes - équivalent CO₂ », **notée [teqCO₂]**, est choisie pour quantifier les émissions produites.

Pour l'ensemble des 111 chantiers étudiés, nous obtenons les émissions de gaz à effet de serre suivantes :

	Maisons type 1 (46 occurrences)	Maisons type 1 bis (21 occurrences)	Maisons type 2 (24 occurrences)	Maisons type 3 (20 occurrences)	Total
Émissions totales	446 [teqCO ₂]	162 [teqCO ₂]	193 [[teqCO ₂]	150 [teqCO ₂]	951 [teqCO ₂]
Soit, par chantier	9,7 [teqCO ₂]	8,0 [teqCO ₂]	8,1 [teqCO ₂]	7,5 [teqCO ₂]	8,6 [teqCO ₂]

Figure 3 : Résultats globaux du bilan carbone.

Ainsi, l'ensemble des 111 chantiers de rénovation énergétique étudiés représente environ 951 [teqCO₂], **soit 8,6 [teqCO₂] par chantier de rénovation en moyenne**. Rapporté à la surface habitable moyenne des maisons étudiées (145 m²), le taux d'émission des travaux de rénovation énergétique est d'environ 60 [kgeqCO₂/m²].

Nous pouvons constater par ailleurs une certaine homogénéité des résultats obtenus par chantier entre les différentes typologies de maison. Cette homogénéité peut s'expliquer par celle des bâtiments étudiés (tous sont des maisons individuelles), par celle des bouquets de travaux

appliqués (tous correspondent à un même référentiel technique), mais également par les hypothèses de l'étude (appliquées de la même manière à chaque type).

Ces résultats sont analysés dans les paragraphes ci-dessous, à l'échelle du panel complet des 111 chantiers, et suivant différents axes :

- selon les contributeurs de GES (déplacements, intrants, énergie...);
- selon les lots de travaux.

Des pistes d'amélioration du bilan carbone de la rénovation énergétique sont également données.



Analyse de la part des différents contributeurs de GES

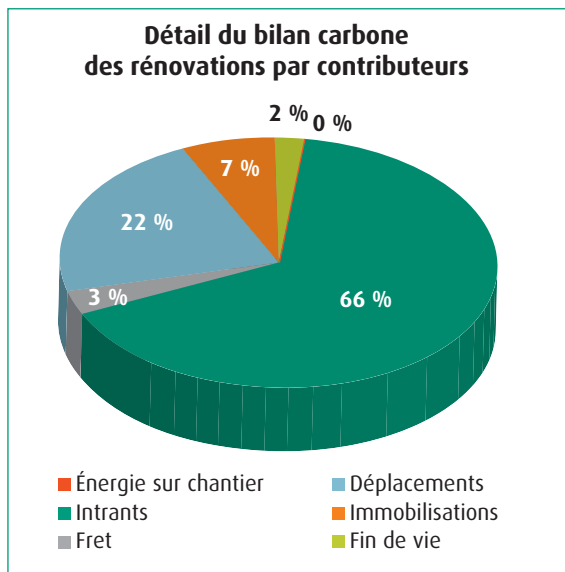


Figure 4 : Répartition du bilan carbone par contributeurs.

Sur l'ensemble des chantiers de rénovation, il apparaît que **la plus grande part des émissions de GES est liée aux « intrants » (matériaux et produits de construction) qui représentent les 2/3 du bilan carbone total.**

Suit ensuite **le poste « déplacements » (déplacements des entreprises), qui représente près de 1/4 des émissions totales.**

Ainsi, près de 90 % du bilan carbone global est composé de ces deux postes.

Les postes « immobilisation » (7 %), « fret » (3 %) et « fin de vie » (2 %) viennent ensuite. Le poste « énergie consommée sur chantier » est négligeable.

Analyse de la part des différents lots

Il apparaît, sur les deux graphiques ci-dessous, que **les lots les plus émissifs en GES sont les lots d'isolation** (dans l'ordre : murs, combles, planchers bas) **qui représentent près de 75 % des émissions des chantiers de rénovation énergétique.**

Le lot « menuiseries » vient ensuite, avec 17 % des émissions de GES.

Le lot « MOE et BET » est le contributeur le plus faible. Ce classement s'explique en grande partie par l'importance des quantités de matériaux isolants utilisés et par l'importance des surfaces d'enveloppe à traiter, pour ce qui constituait par ailleurs la priorité du programme « JRBB ». »

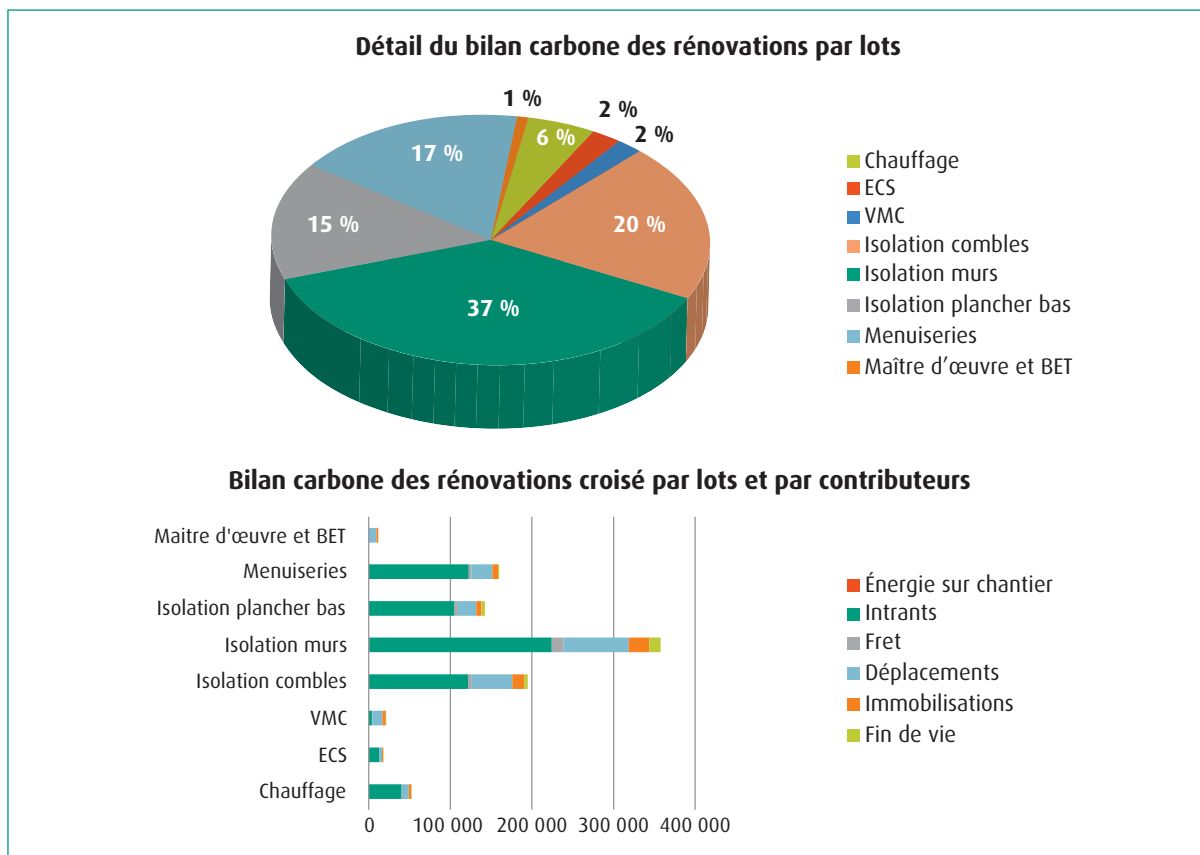


Figure 5 : Répartition du bilan carbone par lots.

Les pistes d'amélioration du bilan carbone des travaux de rénovation

L'analyse des émissions de GES a mis en évidence **deux contributeurs particulièrement importants : les intrants** (constitués à près de 75 % par les lots d'isolation) et **les déplacements des entreprises**. Ils représentent à eux deux près de 90 % des émissions globales de la rénovation énergétique. Il s'agit pour autant de postes d'émissions sur lesquels le maître d'ouvrage d'un chantier a des moyens d'action.

Ainsi, les enquêtes menées sur les déplacements des professionnels du panel d'étude révèlent que les entreprises sont localisées à des distances du chantier variant entre 35 et 70 km. Une piste d'amélioration serait donc de **choisir des entreprises plus proches**. Ces mêmes enquêtes permettent de définir des cibles de déplacements réalistes pour la plupart des opérations :

- 15 km de distance pour les entreprises de travaux ;
- 25 km pour les maîtres d'œuvre et bureaux d'études situés à proximité des grandes villes.

Une autre solution permettant de réduire les émissions de GES liées au chantier serait de rationaliser les circuits de déplacements (optimisation de la livraison des produits, etc.).

En ce qui concerne les intrants, la figure 5 a mis en évidence le poids prépondérant des matériaux d'isolation. Or il apparaît sur la figure 6 ci-dessous que **certains isolants émettent moins de GES que d'autres pour leur production** : la ouate de cellulose, la laine de verre et le complexe ouate/fibre de bois ont ainsi les taux d'émission de GES les plus faibles. Leur utilisation permet donc une réduction significative des émissions de GES.

Notons cependant que le choix de l'isolant est conditionné à bien d'autres paramètres : nature du support, technique de mise en œuvre, tenue au feu, coût, etc.

Il apparaît ainsi différentes pistes de réduction du bilan carbone de la rénovation énergétique, en ciblant particulièrement le déplacement des entreprises et le choix des matériaux d'isolation.

Après avoir analysé le bilan carbone des travaux de rénovation énergétique, **nous nous intéressons par la suite à l'impact carbone des bâtiments en phase exploitation**, qui évolue dans le cadre des programmes JRBBC via la baisse des consommations énergétiques après travaux.

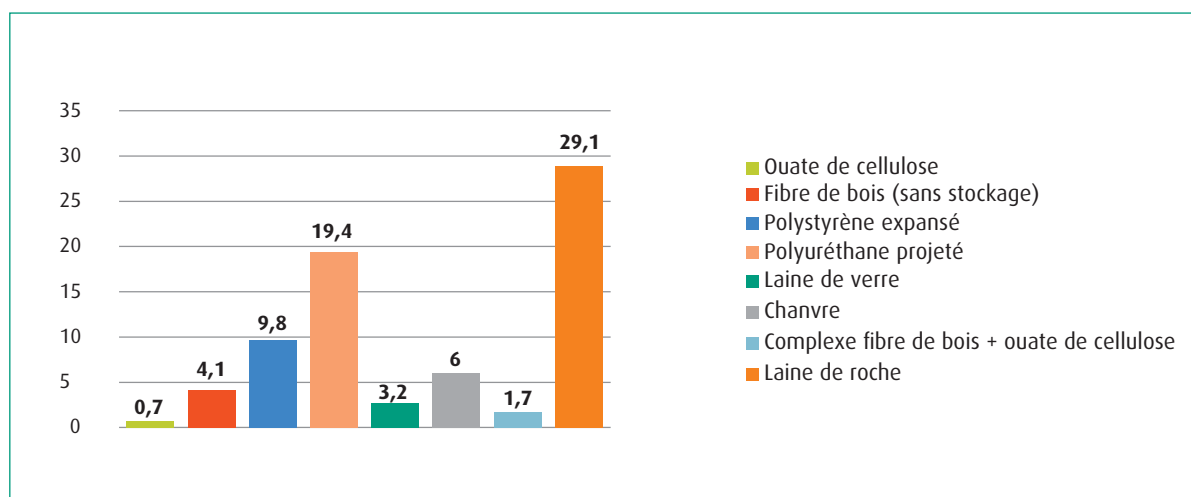


Figure 6 : Comparaison du poids carbone en teqCO₂ de différents isolants pour une résistance thermique donnée ($R = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$).



LE BILAN CARBONE DES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES AVANT ET APRÈS TRAVAUX

Pour évaluer le bilan carbone lié aux consommations d'énergie, nous nous basons sur les résultats des **consommations conventionnelles**, correspondant aux 5 postes réglementaires, issues des études thermiques présentées et analysées par ailleurs dans le fascicule A. Les émissions de GES correspondant aux consommations conventionnelles d'énergie sont **calculées à partir des facteurs d'émissions réglementaires³ de la méthode DPE**.

Le panel considéré ici (155 logements) est plus important que dans les paragraphes précédents.

La figure 7 ci-dessous illustre la distribution de ces émissions de GES avant et après travaux. Les valeurs moyennes, les écarts types et les coefficients de variation sont également indiqués.

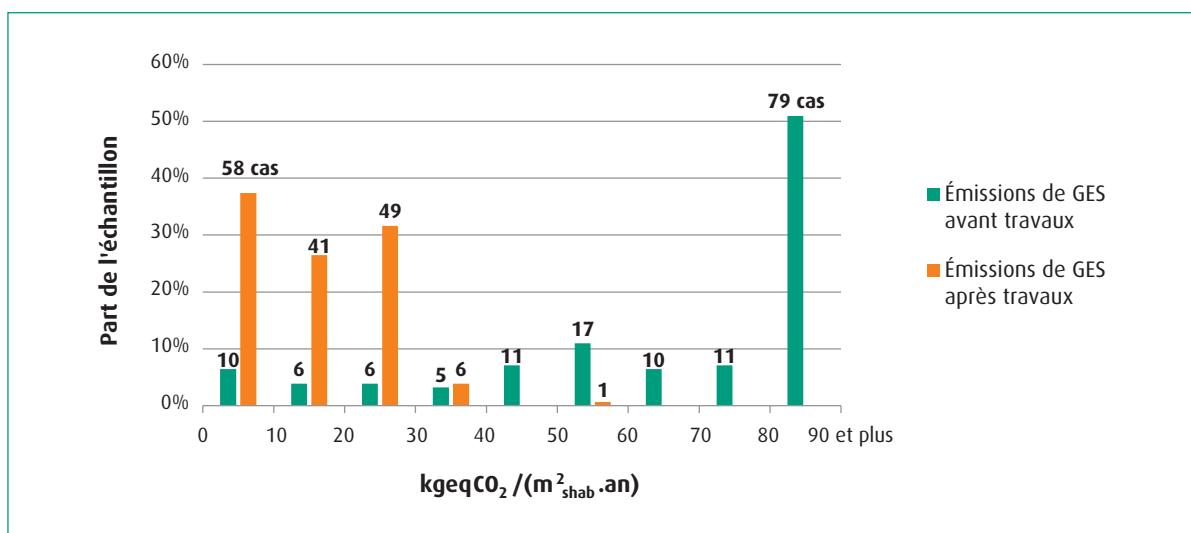


Figure 7 : Distribution des émissions conventionnelles surfaciques de GES avant et après travaux, pour un échantillon de 155 logements.

Émissions conventionnelles de GES	Avant travaux			Après travaux		
	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (écart-type/moyenne)	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (écart-type/moyenne)
Par logement en [teqCO ₂ /an]	12,2	8,4	0,69	2,2	1,6	0,73
Par m ² (SHAB) en [kgeqCO ₂ /(m ² .an)]	87	54	0,62	15	10	0,68
Coefficient de réduction				76 %	19 %	0,25

³ Disponibles sur LEGIFRANCE : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000788395>

Avant travaux, nous constatons qu’une maison du panel considéré émet en moyenne **12,2 [teqCO₂/an]⁴, soit 87 [kgeqCO₂/(m².an)].**

Après travaux dans le cadre des programmes JRBBBC, le taux d’émission de GES par maison se situe en moyenne à **2,2 [teqCO₂/an], soit 15 [kgeqCO₂/(m².an)].**

Il apparaît ainsi **un coefficient de réduction moyen de 76 % des émissions de GES, soit une division des émissions de GES, après travaux, par un facteur 4 en moyenne.** Ce résultat, bien que conventionnel, apparaît cohérent avec les objectifs nationaux, à horizon 2050, de la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV).

Par ailleurs, si le coefficient de réduction des émissions de GES se situe en moyenne à 76 %,

nous pouvons constater des écarts types et des coefficients de variation importants.

En particulier, il s’avère que les émissions de GES **dépendent fortement du type d’énergie utilisée avant et après travaux.** Le tableau suivant permet d’analyser les coefficients de réduction moyens, en fonction des énergies utilisées avant et après travaux, pour le chauffage et l’ECS.

Il apparaît ainsi que **les facteurs de réduction les plus intéressants (dépassant le facteur 4) sont observés pour des opérations utilisant des énergies moins carbonées** telles que l’électricité ou le bois en énergie principale (chauffage/ECS) après travaux. Les facteurs de réduction atteignent même plus de 90 % dans certains cas.

Énergies (Ch/ECS) Après travaux >	Bois/Électrique ou bois (15 % du panel)	Électrique/Électrique ou bois (24 % du panel)	Gaz/Électrique ou bois ou solaire (14 % du panel)	Gaz/Gaz (34 % du panel)	Fioul/Divers (13 % du panel)
Énergies (Ch/ECS) Avant travaux					
Électrique/Électrique (15 % du panel)	97 %	75 %	54 %	71 %	-
Gaz/Gaz (41 % du panel)	92 %	94 %	79 %	64 %	-
Fioul/Fioul (41 % du panel)	98 %	97 %	80 %	85 %	72 %
Bois/Bois (3 % du panel)	48 %	-	-	-	-

Figure 8 : Facteur de réduction des émissions de GES, avant et après travaux, selon les types d’énergies utilisées pour le chauffage/ECS (échantillon de 155 logements).

⁴ Nous rappelons qu’il s’agit ici d’émissions conventionnelles de GES, qui peuvent différer des émissions réelles des maisons qui, elles, dépendent des conditions d’occupation et d’utilisation du bâtiment. Ainsi, des études récentes menées par le CGDD placent plutôt la moyenne des émissions de GES d’une maison individuelle située en Alsace aux alentours de **9 [teqCO₂/an]**.



LE TEMPS DE RETOUR « CARBONE » DE LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

Nous nous intéressons ici à l'impact « carbone » relatif des deux phases considérées dans les paragraphes précédents : la phase chantier et la phase exploitation.

Il a été constaté que les travaux de rénovation énergétique des maisons du programme représentent un poids carbone estimé à **8,6 [teqCO₂]** par chantier de rénovation. Ces travaux permettent, dans le même temps, de réduire significativement les émissions de GES en phase « exploitation » du bâtiment, en améliorant sa performance énergétique : **-10 [teqCO₂]** par an en moyenne pour un logement

donné. Ainsi, il est possible **d'estimer un « temps de retour carbone » des travaux de rénovation énergétique à environ 10 mois d'exploitation.**

Cette durée est particulièrement faible, notamment au regard de la durée de vie des bâtiments et des produits installés.

La démarche de rénovation énergétique des bâtiments apparaît donc très pertinente du point de vue du bilan carbone global. Malgré une phase de chantier émettrice de GES, la réduction des consommations énergétiques due à la rénovation compense très rapidement les émissions occasionnées.

À retenir du fascicule

- S'agissant des émissions conventionnelles de GES liées aux consommations énergétiques : elles sont divisées en moyenne par un facteur 4 après travaux.

Bien qu'important, ce facteur n'est pas à la hauteur de la stratégie nationale bas carbone (SNBC), dont un des objectifs est de réduire les émissions de CO₂ du parc bâti de 87 % entre 2013 et 2050.

Les facteurs de réduction les plus importants (au-dessus de 90 % dans certains cas) sont obtenus principalement grâce au passage vers des énergies moins carbonées.

- Les travaux de rénovation énergétique des maisons du programme représentent un poids carbone estimé en moyenne à 8,6 [teqCO₂] par chantier de rénovation.

Deux contributeurs de GES sont particulièrement importants lors des chantiers : les intrants, principalement représentés par les matériaux isolants, et les déplacements des employés des entreprises qui représentent à eux seuls 90 % des émissions d'un chantier de rénovation. Il s'agit pour autant de postes d'émission sur lesquels le maître d'ouvrage a des moyens d'action (privilégier des entreprises proches du chantier, recourir à des matériaux à faible contenu carbone...)

- Au final, les travaux de rénovation énergétique ont un impact environnemental largement positif. Les émissions liées aux travaux de rénovation sont compensées très rapidement (moins de 1 an en moyenne) par la baisse des émissions liées aux consommations énergétiques.





ANNEXE : DÉTAIL DU CALCUL D'UN BILAN CARBONE

Nous illustrons ici la méthode suivie pour le calcul du bilan carbone des travaux de rénovation sur un type de maison (type 1) et sur un lot type : l'isolation des murs par l'extérieur.

Voici les caractéristiques de ce lot de travaux pour cette maison type :

- nombre d'opérations concernées : 43 ;
- isolation extérieure (ITE) avec résistance thermique de 5 m².K/W ;
- surface moyenne d'isolant : 190 m² ;
- durée moyenne des travaux : 140 h (sur la base des informations transmises par les entreprises) ;
- nombre d'employés sur chantier en moyenne : 2,5 (sur la base des informations transmises par les entreprises) ;

- type d'isolant mis en œuvre sur les chantiers de cette typologie :

Architecture	Maison toiture 2 pans et combles habités
Étiquettes	Nombre
/	3
Fibre de bois	10
Fibre de bois + ouate	5
Ouate	1
Polystyrène	26
Polyuréthane	1
Total général	46

Répartition des occurrences de matériaux sur le type 1.

Calcul du contributeur « Énergie »

Par enquête, nous avons considéré une énergie de **0,3 [kWh]/heure** de chantier et une durée de chantier de 140 h, pour 43 opérations : $140 \times 0,3 \times 43 = 1806$ [kWh], soit **189 [kgeqCO₂]** pour l'énergie utilisée sur chantier pour l'isolation des murs.

Calcul du contributeur « Intrants »

Matériaux de construction - INIES	Rappel	Rappel	Unité utilisée	Quantités utilisées	kg CO2e par qté	% supp. pour mise en œuvre	kg CO2e
	Emissions kg CO2e	Emissions kg Ce					
Enduit peinture extérieure	8 333	2 273	1 m2 de paroi	8 170	1,00	2%	8 333
Film d'étanchéité à l'air moyen	1 750	477	1 m2 de paroi	8 170	0,21	2%	1 750
Kit fixation IT/ITE	25 834	7 046	1 m2 de paroi	8 170	3,10	2%	25 834
Fibre de bois (sans stockage)	7 946	2 167	1 m2 de paroi	1 900	4,10	2%	7 946
Complexe fib + ouate (sans stockage)	1 647	449	1 m2 de paroi	950	1,70	2%	1 647
Ouate de cellulose	136	37	1 m2 de paroi	190	0,70	2%	136
Polystyrène expansé	49 229	13 426	1 m2 de paroi	4 940	9,77	2%	49 229
Polyuréthane projeté	3 760	1 025	1 m2 de paroi	190	19,40	2%	3 760
Film d'étanchéité à l'air moyen	0	0	1 m2 de paroi		0,21	2%	0
Total	98 635	26 900					98 635

Nous retrouvons ici l'ensemble des types d'isolants posés sur les chantiers de la typologie considérée, ainsi que les travaux induits. Nous précisons qu'un supplément de 2 % a été ajouté pour prendre en compte les éventuelles chutes de matériaux lors de la pose. Pour les matériaux à base de bois, nous n'avons pas pris en compte l'effet puits carbone.

Nous arrivons à un total d'environ **99 [teqCO₂]** pour les matériaux en eux-mêmes.

Calcul du contributeur « Fret »

Données V6.1	Rappel	Rappel	Caractérisation du transport	kg CO2e par km			kg CO2e par km		% du trajet fait à vide	% CU max en charge	charge utile max (tonnes)	tonnes.km
	Emissions kg CO2e	Emissions kg Ce		fabrication	amont	combustion	fabrication	combustion				
> 21 tonnes, V6.1	5 889	1 551	Non opéré, support	0,086	0,104	0,988	0,150	1,422	30%	50%	16,66	24 510
< 1,5 t diesel, V6.1	0	0		0,025	0,020	0,192	0,020	0,192	20%	26%	0,46	
1,5 à 2,5 tonnes essence, V6.1	0	0		0,040	0,039	0,230	0,039	0,230	20%	30%	0,70	

Pour la partie fret, l'unité ici employée est la [tonne.km] qui est très utilisée dans le domaine du transport routier puisqu'elle correspond au transport d'une tonne sur un kilomètre.

Dans notre cas, il a donc fallu estimer le poids de l'ensemble du matériel installé et le multiplier par la distance estimée de transport (fixée à 150 [km] pour tout ce qui concerne l'isolation).

Pour estimer le poids de l'ensemble du matériel, par enquête, nous avons évalué le poids du matériel (isolation et travaux induits) à environ 0,02 [tonne/m²]. Ainsi, nous obtenons : 0,02 x 190 m² x 43 chantiers = 163 tonnes au total. Soit 163 tonnes x 150 km = **24 500 [tonne.km]**.

Ainsi, avec l'utilisation d'un camion > 21 tonnes, les émissions de CO₂éq sont de **5,7 [teqCO₂]**.

Calcul du contributeur « Déplacements »

Nous supposons systématiquement que les employés rejoignent l'entreprise avant de se rendre sur chantier. Nous devons distinguer les déplacements personnels des employés, domicile/entreprise, et les déplacements professionnels, entreprise/chantier.

• Déplacements personnels

3 - Voiture, domicile - travail : calcul à partir du nombre de véhicule.km et de la localisation du domicile du conducteur												
Données V6.1 - à ne pas utiliser pour le Bilan GES strict	Rappel	Rappel	Caractérisation du transport	véhicules.km	kg CO2e par véhicule.km			kg CO2e		carburant		Dont part Scope 1 kg CO2e
	Emissions kg CO2e	Emissions kg Ce			fabrication	amont	combustion	fabrication	amont	combustion		
Périphérie rurale, V6.1	18 583	5 068	Non opéré	86 000	0,040	0,022	0,154	3 439	1 890	13 254	0	
Banlieue urbaine, V6.1	0	0			0,040	0,036	0,248	0	0	0	0	
Centre ville, V6.1	0	0			0,040	0,039	0,274	0	0	0	0	
France entière, V6.1	0	0			0,040	0,027	0,189	0	0	0	0	
Total	18 583	5 068						3 439	1 890	13 254	0	

Nous devons utiliser l'indicateur [véhicule.km] qui est généralement utilisé pour calculer le nombre de kilomètres parcourus par un nombre de véhicules donné. Ici, il nous faut donc le nombre moyen de kilomètres que parcourent les employés par jour. Comme nous l'avons précédemment vu, les employés travaillant dans des entreprises type artisan parcourent environ 20 km/jour aller, idem au retour. Nous obtenons donc, pour les 43 chantiers :

$$(20 \text{ km} \times 2 \times 2,5 \text{ employés}) \times (140 \text{ h} / 7 \text{ h}) \times 43 \text{ chantiers} = \mathbf{86\ 000 \text{ [véhicules.km]}}$$

Distance parcourue pour 1 jour de chantier
Nombre de jours travaillés pour 1 chantier

Au total, cela nous donne **18,7 [teqCO₂]** pour les déplacements personnels.

• Déplacements professionnels

2bis - Déplacements en voiture dans le cadre du travail : calcul à partir des puissances administratives pour les VP diesel												
Puissance fiscale (CV)	Rappel	Rappel	Caractérisation du transport	véhicule.km	kg CO2e par véhicule.km			kg CO2e		carburant		Dont part Scope 1 kg CO2e
	Emissions kg CO2e	Emissions kg Ce			fabrication	amont	combustion	fabrication	amont	combustion		
[6-10CV] gazole	17 657	4 816	Opéré	67 768	0,040	0,045	0,175	2 710	3 070	11 877	11 877	
[6-10CV] gazole	0	0			0,040	0,045	0,175	0	0	0	0	
> 11CV gazole	0	0			0,040	0,064	0,248	0	0	0	0	
Total	17 657	4 816						2 710	3 070	11 877	11 877	

Cette fois, nous supposons que nous n'avons qu'un véhicule représentant une camionnette servant à transporter à la fois les employés et le matériel sur chantier. Les artisans parcourant environ 80 km par jour pour effectuer le trajet entreprise/chantier, nous obtenons :

$$(80) \times (140\text{h}/7\text{h}) \times 43 = \mathbf{67\ 768 \text{ [véhicules.km]}}$$

Soit un équivalent CO₂ de **17,9 [teqCO₂]**.

Calcul du contributeur « Immobilisations »

Nous avons déterminé pour les artisans un ratio d'immobilisation de 0,72 [kgeqCO₂/heure/employé]. Or chaque chantier durant 140 heures, avec en moyenne 2,5 employés présents sur site, nous obtenons :

$$140 \text{ h} \times 2,5 \text{ employés} \times 43 \text{ chantiers} \times 0,72 = \mathbf{10,8 \text{ [teqCO}_2\text{]}}$$

Calcul du contributeur « Fin de vie »

Déchets alimentaires et mélanges		Rappel	Rappel	Matériel mis	Tonnes	% issu de	fin de vie	kg CO2e	Référent éco	kg CO2e
		Emissions	Emissions	en location ?	jetées	recyclé	kg CO2e/tonne		kg CO2e	par tonne
		kg CO2e	kg Ce							évitée
Divers non combustible et non fermentescible		5 392	1 471		163		33	5 392	0	0
Ordures ménagères moyenne		0	0				357	0	-95	0
Divers non combustible et non fermentescible		0	0				33	0	0	0
Total		5 392	1 471					5 392		0

Ne connaissant pas la composition exacte de chaque produit, nous choisissons de classer les futurs déchets en « non combustibles et non fermentescibles ». Au total, lorsque l'on rapporte au nombre de tonnes de produits installés, nous obtenons environ **5,3 [teqCO₂]** imputables à la fin de vie.

A - La performance énergétique globale et le confort thermique

B - La performance de l'enveloppe

C - Les systèmes de chauffage, d'ÉCS et de ventilation

D - Le bilan carbone des rénovations énergétiques

E - La qualité de l'air intérieur

F - La mise en œuvre

G - Les enseignements économiques

H - Les enseignements sociologiques

Directeur de publication
Bernard Larroustou

Directeur délégué de publication
Christian Curé

Maquettage
PAO Concept

Impression
JOUVE 53100 Mayenne

© 2017 - Cerema
La reproduction totale ou partielle du document doit être soumise à l'accord préalable du Cerema.

Collection
Connaissances
ISSN 2417-9701
Dépôt légal : juin 2017



Fascicule réalisé sous la coordination de Sabine Mirtain-Roth (EDF) et Julien Burgholzer (Cerema)

Rédacteurs

Noëlie Daviau Pellegrin, Joëlle Schaal, Julien Burgholzer (Cerema)

Contributeurs

Clément Peyrol (EDF / INSA Strasbourg)

Vianney Leroy (EDF)

Relecteurs

Matthieu Flahaut (Région Grand Est)

Éric Gaspard (Ademe)

Bertrand Chauvet (AQC)

Marina Gaspard (Energivie.pro)

Olivier Eber (ES)

Fabien Auriat (DGALN)

Philippe Jary, Cyril Pouvesle (Cerema)

Laurent Grignon-Massé, Nadège Chatagnon, Maxime Raynaud (EDF)

Contacts

sabine.mirtain@edf.fr

julien.burgholzer@cerema.fr

Photos

EDF

Boutique en ligne: catalogue.territoires-ville.cerema.fr

La collection « Connaissances » du Cerema

Cette collection présente l'état des connaissances à un moment donné et délivre de l'information sur un sujet, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Elle offre une mise à jour des savoirs et pratiques professionnelles incluant de nouvelles approches techniques ou méthodologiques. Elle s'adresse à des professionnels souhaitant maintenir et approfondir leurs connaissances sur des domaines techniques en évolution constante. Les éléments présentés peuvent être considérés comme des préconisations, sans avoir le statut de références validées..

Aménagement et développement des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment