

Économies de CO₂ grâce aux travaux d'isolation en rénovation.

Version du 07/10/2022

▪ Objectifs

Compte tenu de l'urgence climatique, la politique de rénovation énergétique du parc existant doit dorénavant être complétée d'objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Pierre angulaire de cette stratégie de rénovation du parc, l'isolation des bâtiments conduit non seulement à réduire les consommations d'énergie, mais aussi les émissions de CO₂ et les factures énergétiques des ménages, tout en contribuant directement à réduire la dépendance énergétique de la France.

Cette note a pour objectif d'analyser les impacts carbone de travaux d'isolation thermique dans une démarche d'analyse de cycle de vie en se rapprochant au maximum de la méthode désormais utilisée dans la RE2020.

Elle porte sur deux cas d'étude en maison individuelle : une isolation des murs par l'extérieur (ITE en ETICS) et une isolation de combles perdus.

Elle permet de calculer des « temps de retour carbone » de travaux d'isolation selon plusieurs techniques et produits.

▪ Méthodologie et hypothèses :

L'ensemble des sources et des calculs de cette note est en annexe :

- Les calculs d'économies d'énergie et de CO₂ liées aux consommations ($I_{\text{énergie économisées}}$) ont été réalisés avec la méthode 3CL-DPE-2021, par un bureau d'étude thermique qualifié OPQIBI aux compétences reconnues,
- Les contenus CO₂ des matériaux, les durées de vie de référence des ouvrages, sont issus de FDES de la base INIES.
- Le poids carbone des isolants est comparé à performance thermique équivalente. Les résistances thermiques retenues sont de 3.7 m².K/W en isolation des murs et 7 m².K/W en isolation des combles perdus. Ce sont les niveaux de performances minimaux à atteindre pour être éligibles à MaPrimeRénov' et aux CEE.
- L'indicateur $I_{\text{rénovation}}$ est calculé en équivalent analyse de cycle de vie avec la méthode de la « RE 2020 » (méthode d'ACV dite « dynamique »).
- L'impact CO₂ des travaux d'isolation est égal à $I_{\text{énergie économisées}} - I_{\text{rénovation}}$.
- Le temps de retour carbone des travaux d'isolation est la durée à partir de laquelle les émissions de CO₂ économisées du fait des gains énergétiques dépassent le poids carbone des solutions mises en œuvre lors des travaux de rénovation.

La comparaison entre les natures d'isolants se limite uniquement aux poids carbone des systèmes d'isolation, à performance thermique équivalente, sans prendre en compte les différents bénéfices liés à ces solutions (emprise au sol, performance acoustique, protection incendie, ...).

■ **Principales conclusions :**

○ En cas d'isolation thermique par l'extérieur :

- L'isolation thermique par l'extérieur pour cette maison individuelle permet d'économiser 1350 kg CO₂eq/m². SHAB ($IC_{\text{énergie économisées}}$) sur sa durée de vie de référence, soit 50 ans.
- A performance thermique équivalente, le poids carbone du système d'isolation par l'extérieur ($IC_{\text{rénovation}}$) représente au maximum 2,1% du poids carbone des économies de CO₂ liées économies d'énergie ($IC_{\text{énergie économisées}}$). Par ailleurs, plus de $\frac{3}{4}$ de ce poids carbone est lié au système de fixation des isolants et à l'enduit.
- Le temps de retour carbone des travaux d'isolation par l'extérieur est légèrement supérieur à 1 an pour la solution la plus carbonée.
- Le choix de l'isolant permet un gain carbone de 1,17 % par rapport poids carbone des économies de CO₂ liées aux consommations énergétiques entre la solution la plus carbonée et la moins carbonée.

○ Pour l'isolation des combles perdus :

- L'isolation des combles perdus pour cette maison individuelle permet d'économiser 1050 kg CO₂eq/m². SHAB ($IC_{\text{énergie économisées}}$) sur sa durée de vie de référence, soit 50 ans.
- A performance thermique équivalente, le poids carbone de l'isolation des combles perdus ($IC_{\text{rénovation}}$) représente au maximum 0.44 % du poids carbone des économies de CO₂ liées économies d'énergie ($IC_{\text{énergie économisées}}$).
- Le temps de retour carbone des travaux d'isolation des combles perdus est de 0.22 année pour la solution la plus carbonée, soit moins de 3 mois.
- Le choix de l'isolant permet un gain carbone de 2 % par rapport poids carbone des économies de CO₂ liées aux consommations énergétiques entre la solution la plus carbonée et la moins carbonée.

→ **La nature de l'isolant, à performance thermique équivalente, a un impact extrêmement négligeable par rapport aux économies de CO₂ liées aux travaux de rénovation énergétique.**

→ **L'enjeu de la rénovation énergétique porte donc avant tout une réduction drastique des consommations énergétiques et de leurs GES dans la durée et non sur la nature des isolants.**

■ Analyse :

1. La nature de l'isolant, à performance thermique équivalente, a un impact extrêmement négligeable par rapport aux économies de CO₂ liées aux travaux de rénovation énergétique.

Comparatif pour l'ITE et l'isolation des combles perdus des indicateurs $I_{C_{\text{énergie_économisées}}}$ (économies de CO₂ liées aux consommations énergétiques) Vs $I_{C_{\text{rénovation}}}$ (poids carbone des matériaux et systèmes) sur la durée de vie de référence des travaux



Comment lire ce graphique :

Ce graphique présente pour les variantes « isolation thermique par l'extérieur » et « isolation des combles perdus », selon différentes natures d'isolants et à performance thermique équivalente :

- Les économies de CO₂ liées à la réduction des consommations énergétiques sur la durée de vie de référence des produits, soit 50 ans : l'indicateur $I_{C_{\text{énergie_économisées}}}$ (en jaune),
- le poids carbone des systèmes et des isolants utilisés : l'indicateur $I_{C_{\text{rénovation}}}$ (en vert),
- le % en haut correspond au poids carbone des matériaux par rapport aux économies d'énergie.

Par exemple, une isolation thermique par l'extérieur en PSE permet d'économiser 1350 kg CO₂ eq/m². SHAB sur la durée de vie de référence du système ($I_{C_{\text{énergie_économisées}}}$), le poids carbone du système complet est de 28.21 kg CO₂ eq/m². SHAB ($I_{C_{\text{rénovation}}}$), le poids carbone du $I_{C_{\text{rénovation}}}$ représente 2.09 % du $I_{C_{\text{énergie_économisées}}}$.

Constats selon les types de travaux :

- Pour les sensibilités « Isolation thermique par l'extérieur » :
 - L'isolation thermique par l'extérieur pour cette maison individuelle permet d'économiser 1350 kg CO₂ eq/m². SHAB ($I_{C_{\text{énergie_économisées}}}$) sur sa durée de vie de référence, soit 50 ans.
 - A performance thermique équivalente, le poids carbone du système d'isolation par l'extérieur ($I_{C_{\text{rénovation}}}$) représente au maximum 2,1% du poids carbone des économies de CO₂ liées économies d'énergie ($I_{C_{\text{énergie_économisées}}}$). Par ailleurs, plus de ¾ de ce poids carbone est lié au système de fixation des isolants et à l'enduits.
 - Le choix de l'isolant permet un gain carbone de 1,17 % par rapport au poids carbone des économies de CO₂ liées aux consommations énergétiques entre la solution la plus carbonée et la moins carbonée.
- Pour les sensibilités « Isolation des combles perdus » :
 - L'isolation des combles perdus pour cette maison individuelle permet d'économiser 1050 kg CO₂ eq/m². SHAB ($I_{C_{\text{énergie_économisées}}}$) sur sa durée de vie de référence, soit 50 ans.
 - A performance thermique équivalente, le poids carbone de l'isolation des combles perdus ($I_{C_{\text{rénovation}}}$) représente au maximum 0.44 % du poids carbone des économies de CO₂ liées économies d'énergie ($I_{C_{\text{énergie_économisées}}}$).

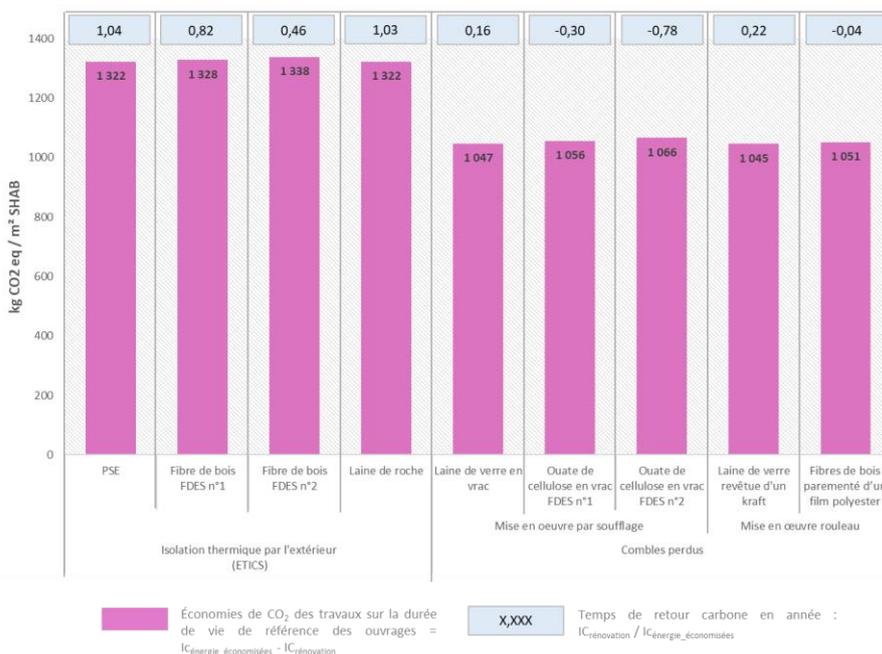
Économies de CO₂ grâce aux travaux d'isolation en rénovation.

- Le choix de l'isolant permet un gain carbone de 2 % par rapport au poids carbone des économies de CO₂ liées aux consommations énergétiques entre la solution la plus carbonée et la moins carbonée.

2. Le poids carbone des isolants étudiés est très vite amorti en rénovation.

Le temps de retour carbone des travaux d'isolation est la durée à partir de laquelle les émissions de CO₂ économisées du fait des gains énergétiques dépassent le poids carbone des solutions mises en œuvre lors des travaux de rénovation.

Comparatif pour l'ITE et l'isolation des combles perdus des économies de CO₂ sur la durée de vie de référence des travaux ($IC_{\text{énergie économisées}} - IC_{\text{rénovation}}$) et du temps de retour carbone.



Comment lire ce graphique :

Ce graphique présente pour les variantes « isolation thermique par l'extérieur » et « isolation des combles perdus », selon différentes natures d'isolants et à performance thermique équivalente :

- Les économies de CO₂ liées aux travaux sur la durée de vie de référence des ouvrages, soit 50 ans, en violet ($IC_{\text{énergie économisées}} - IC_{\text{rénovation}}$)
- Les temps de retour carbone (en année en haut du graphique).

Par exemple, une isolation thermique par l'extérieur en PSE permet d'économiser 1322 kg CO₂eq/m². SHAB sur la durée de vie de référence du système. Le temps de retour carbone est de 1.04 années ($IC_{\text{énergie économisées}} / IC_{\text{rénovation}}$).

Constats selon les types de travaux :

- Pour les sensibilités « Isolation thermique par l'extérieur » :
 - L'isolation pour cette MI permet d'économiser sur 50 ans de 1322 à 1338 kg CO₂eq/m². SHAB selon les différentes natures d'isolant ($IC_{\text{énergie économisées}} - IC_{\text{rénovation}}$).
 - Le temps de retour carbone des travaux d'isolation par l'extérieur est légèrement supérieur à 1 an pour la solution la plus carbonée.
- Pour les sensibilités « Isolation des combles perdus » :
 - L'isolation pour cette MI permet d'économiser sur 50 ans de 1045 à 1066 kg CO₂eq/m². SHAB selon les différentes natures d'isolant ($IC_{\text{énergie économisées}} - IC_{\text{rénovation}}$).
 - Le temps de retour carbone des travaux d'isolation des combles perdus est de 0.22 année pour la solution la plus carbonée, soit moins de 3 mois.

Annexe : détail des calculs

Indicateurs :

- $IC_{\text{énergie économisées}}$ = émissions de CO₂ économisées liées à la baisse de l'énergie induite par les travaux de rénovation.
- $IC_{\text{rénovation}}$ = poids carbone en ACV « RE 2020 » des travaux de rénovation énergétique.

Applications :

- Cas 1 : maison à combles aménagés – réalisation d'une isolation thermique des murs par l'extérieur en ETICS avec une résistance thermique de 3.7 m². K/W,
- Cas 2 : maison à combles perdus – réalisation d'une isolation des combles perdus avec une résistance thermique de 7 m². K/W.

Décomposition des calculs :

- **Cas 1 : maison à combles aménagés – réalisation d'une isolation thermique des murs par l'extérieur en ETICS avec une résistance thermique de 3.7 m². K/W.**

Typologie	Maison combles aménagés
Zone climatique	H1a
SHAB (m ²)	150
Energie (chauffage + ECS)	Gaz individuel
Surface murs extérieur à isoler (m ²)	118

Tableau 1 : Descriptif de la maison individuelle de l'étude avec des combles aménagés

Estimation des consommations et des émissions de CO₂ avant et après travaux.

Étapes	Liste des cas unitaires	Consommation énergétique			Émissions de CO ₂			Étiquette DPE
		Cep TOTAL (kWhEP / m ² shab.an)	Gains sur Cep (kWhEP / m ² shab.an)	Étiquette énergie DPE	IC _{énergie} (kg eq CO ₂ / m ² shab.an)	Gains sur IC _{énergie} (kg eq CO ₂ / m ² shab.an)	Étiquette climat DPE	Étiquette énergie-climat DPE
AVANT TRAVAUX	Cas de Base	512	-	G	113	-	G	G
APRÈS TRAVAUX	Ajout d'une ITE – R = 3,7 m ² .K/W	389	123	F	86	27	F	F

Tableau 2 : Consommations et émissions de CO₂ avant et après travaux et étiquette DPE pour la maison combles aménagés (réalisés avec la méthode 3CL DPE 2021)

La réalisation d'une ITE avec un R de 3,7 m². K/W (niveau MaPrimeRénov' et fiche CEE) permet :

- Économie d'énergie : 123 kWhEP/m².an – bascule de la classe G à F,
- Économie de GES : 27 kg eq CO₂ / m².an – bascule de la classe G à F,
- Étiquette DPE (énergie + climat) : bascule de la classe G à F.

Analyse du poids carbone des travaux d'ITE selon différentes natures d'isolants à performance thermique équivalente selon la méthode d'ACV RE 2020.

/! \ Les valeurs des isolants pour le calcul $IC_{construction}$ ont toutes été ramenées à performance thermique équivalente, c'est-à-dire une résistance thermique de $3.7 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ pour des raisons d'homogénéité de cette comparaison.

	Identification FDES INIES	UF	Durée de vie de référence (DVR) (années)	Total cycle de vie (kg CO ₂ eq./UF)	IC _{rénovation} (kg CO ₂ eq / m ² SHAB)
Système d'Enduits pour Isolation Thermique par l'Extérieur (ETICS), à associer à une FDES d'isolant compatible (v.1.2)	27866	m ²	50	29,63	23,31
Isolant panneau de polystyrène expansé (PSE)	13007	m ²	50	6,22	4,90
TOTAL ITE PSE				35,86	28,21
Système d'Enduits pour Isolation Thermique par l'Extérieur (ETICS), à associer à une FDES d'isolant compatible (v.1.2)	27866	m ²	50	29,63	23,31
Isolant fibre de bois	28471	m ²	50	-1,34	-1,06
TOTAL ITE FIBRE DE BOIS n°1				28,29	22,26
Système d'Enduits pour Isolation Thermique par l'Extérieur (ETICS), à associer à une FDES d'isolant compatible (v.1.2)	27866	m ²	50	29,63	23,31
Isolant fibre de bois	28532	m ²	50	-13,88	-10,92
TOTAL ITE FIBRE DE BOIS n°2				15,75	12,39
Système d'Enduits pour Isolation Thermique par l'Extérieur (ETICS), à associer à une FDES d'isolant compatible (v.1.2)	27866	m ²	50	29,63	23,31
Isolant laine de roche	10994	m ²	50	5,63	4,43
TOTAL ITE LAINE DE ROCHE				35,27	27,74

Tableau 3 : Poids carbone des systèmes d'ITE avec enduit minéral selon différentes natures d'isolants à performance thermique équivalente selon la méthode d'ACV RE 2020.

Formule pour le calcul du $IC_{rénovation}$: surface de mur à isoler x poids carbone de la solution / SHAB de la MI.

Exemple pour le cas ITE PSE : $35.86 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} / \text{m}^2 \times 118 \text{ m}^2 / 150 \text{ m}^2 = 28.21 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} / \text{m}^2 \text{ SHAB}$

Calcul du temps de retour carbone et des économies de GES ($IC_{\text{énergie économisées}}$) sur la DVR (durée de vie de référence) des systèmes d'isolation thermique par l'extérieur.

Systèmes d'ITE	$IC_{\text{rénovation}}$ kg CO ₂ eq / m ² SHAB	$IC_{\text{rénovation}}$ par année de DVR kg CO ₂ eq / m ² SHAB	Gain sur $IC_{\text{énergie}}$ kg CO ₂ eq / m ² SHAB.an	Gain sur $IC_{\text{énergie économisées}}$ sur la DVR kg CO ₂ eq / m ² SHAB	Temps de retour carbone (en années)	Économies carbone sur la DVR ITE kg CO ₂ eq / m ² SHAB	Poids carbone du $IC_{\text{rénovation}}$ sur le $IC_{\text{énergie économisées}}$ (en %)
Pse	28,21	0,56	27,00	1350	1,04	1321,79	2,09%
Fibre de bois n°1	22,26	0,45	27,00	1350	0,82	1327,74	1,65%
Fibre de bois n°2	12,39	0,25	27,00	1350	0,46	1337,61	0,92%
Laine de roche	27,74	0,55	27,00	1350	1,03	1322,26	2,06%

Tableau 4 : Calcul des temps de retour carbone et des économies de carbone sur 50 ans

Le temps de retour carbone, en années, correspond à : $IC_{\text{rénovation}} / \text{Gain sur } IC_{\text{énergie économisées}}$.

L'économie de carbone sur la DVR correspond à : $\text{Gain sur } IC_{\text{énergie économisées}} \times \text{DVR} - IC_{\text{rénovation}}$.

Le pourcentage du poids carbone des matériaux par rapport au poids carbone de l'énergie économisée sur la DVR correspond à : $IC_{\text{rénovation}} \times 100 / IC_{\text{énergie économisées}}$.

- **Cas 2 : maison à combles perdus – réalisation d'une isolation des combles perdus avec une résistance thermique de 7 m². K/W.**

Typologie	Maison combles perdus
Zone climatique	H1a
SHAB (m ²)	100
Energie (chauffage + ECS)	Gaz individuel
Surface combles perdus (m ²)	100

Tableau 5 : Descriptif de la maison individuelle de l'étude avec des combles perdus

Estimation des consommations avant et après travaux.

Étapes	Liste des cas unitaires	Consommation énergétique			Émissions de CO ₂			Étiquette DPE
		Cep TOTAL (kWh _{ep} / m ² shab.an)	GainsurCep (kWh _{ep} / m ² shab.an)	Étiquette énergie DPE	IC _{Énergie} CO ₂ (kg eq CO ₂ / m ² shab.an)	Gainsur IC _{Énergie} (kg eq CO ₂ / m ² shab.an)	Étiquette climat DPE	Étiquette énergie-climat DPE
AVANT TRAVAUX	Cas de Base	478	-	G	106		G	G
APRÈS TRAVAUX	Isolation des Combles perdus R = 7 m ² .K/W	386	92	F	85	21	F	F

Tableau 6 : Consommations et émissions de CO₂ avant et après travaux et étiquette DPE pour la maison combles perdus (réalisés avec la méthode 3CL DPE 2021)

La réalisation d'une isolation des combles perdus avec un R de 7 m². K/W (niveau MaPrimeRénov' et fiche CEE) permet :

- Économie d'énergie : 92 kWh_{EP}/m².an – bascule de la classe G à F,
- Économie de GES : 21 kg eq CO₂ / m².an – bascule de la classe G à F,
- Étiquette DPE (énergie + climat) : bascule de la classe G à F.

Analyse du poids carbone des travaux d'isolation des combles perdus selon différentes natures d'isolants à performance thermique équivalente selon la méthode d'ACV RE 2020.

/! \ Les valeurs des isolants pour le calcul IC_{construction} ont toutes été ramenées à performance thermique équivalente, c'est-à-dire une résistance thermique de 7 m².K/W pour des raisons d'homogénéité de cette comparaison.

Isolation des combles perdus		Identification FDES INIES	UF	Durée de vie de référence (DVR) (années)	Total cycle de vie (kg CO ₂ eq./UF)	IC _{rénovation} (kg Co ₂ eq / m ² SHAB)
Mise en œuvre par soufflage	Laine de verre en vrac	29286	m ²	50	3,43	3,43
	Ouate de cellulose en vrac n°1	29016	m ²	50	-6,39	-6,39
	Ouate de cellulose en vrac n°2	25652	m ²	50	-16,30	-16,30
Mise en œuvre rouleau	Laine de verre en rouleau et revêtue d'un kraft	30273	m ²	50	4,59	4,59
	Isolant en fibres de bois parementé d'un film polyester	29970	m ²	50	-0,79	-0,79

Tableau 7 : Poids carbone des solutions d'isolations des combles perdus selon différentes natures d'isolants à performance thermique équivalente.

Économies de CO₂ grâce aux travaux d'isolation en rénovation.

Pour le calcul du $IC_{rénovation}$: surface de combles à isoler x poids carbone de la solution / SHAB de la MI.

Exemple pour le cas Laine de verre en vrac : $3,43 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} / \text{m}^2 \times 100 \text{ m}^2 / 100 \text{ m}^2 = 3,43 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} / \text{m}^2$.

SHAB

Calcul du temps de retour carbone et des économies de GES ($IC_{\text{énergie économisées}}$) sur la DVR (durée de vie de référence) des systèmes d'isolation thermique par l'extérieur.

Isolation des combles perdus		$IC_{rénovation}$ kg CO ₂ eq / m ² SHAB	$IC_{rénovation}$ par année de DVR kg CO ₂ eq / m ² SHAB	Gain sur $IC_{\text{énergie}}$ kg CO ₂ eq / m ² SHAB.an	Gain sur $IC_{\text{énergie économisées}}$ sur la DVR kg CO ₂ eq / m ² SHAB	Temps de retour carbone (en années)	Économie s carbone sur la DVR ITE kg CO ₂ eq / m ² SHAB	Poids carbone du $IC_{rénovation}$ sur le $IC_{\text{énergie économisées}}$ (en %)
Mise en œuvre par soufflage	Laine de verre en vrac	3,43	0,07	21,00	1050,00	0,16	1046,57	0,33%
	Ouate de cellulose en vrac n°1	-6,39	-0,13	21,00	1050,00	-0,30	1056,39	-0,61%
	Ouate de cellulose en vrac n°2	-16,30	-0,33	21,00	1050,00	-0,78	1066,30	-1,55%
Mise en œuvre rouleau	Laine de verre en rouleau et revêtue d'un kraft	4,59	0,09	21,00	1050,00	0,22	1045,41	0,44%
	Isolant en fibres de bois parementé d'un film polyester	-0,79	-0,02	21,00	1050,00	-0,04	1050,79	-0,08%

Tableau 8 : Calcul des temps de retour carbone et des économies de carbone sur 50 ans

Le temps de retour carbone, en années, correspond à : $IC_{rénovation} / \text{Gain sur } IC_{\text{énergie économisées}}$.

L'économie de carbone sur la DVR correspond à : $\text{Gain sur } IC_{\text{énergie économisées}} \times \text{DVR} - IC_{rénovation}$.

Le pourcentage du poids carbone des matériaux par rapport au poids carbone de l'énergie économisée sur la DVR correspond à : $IC_{rénovation} \times 100 / IC_{\text{énergie économisées}}$.