



**Prise en compte du carbone dans les projets
de rénovation**

Etat des lieux et pratiques actuelles en France

RAPPORT D'ÉTUDE

Janvier 2023

Le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) est un établissement public tourné vers l'appui aux politiques publiques, placé sous la double tutelle du ministère de la transition écologique et du ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales.

Les métiers du Cerema s'organisent autour de 6 grands domaines d'activité complémentaires visant à accompagner les acteurs territoriaux dans la réalisation de leurs projets.

6 domaines d'activité :

Expertise et ingénierie territoriale / Bâtiment / Mobilités / Infrastructures de transport / Environnement et risques / Mer et littoral

Site web : [cerema.fr](https://www.cerema.fr)

Prise en compte du carbone dans les projets de rénovation

Etat des lieux et pratiques actuelles en France

Commanditaire : Cerema sur SCSP

Responsable du rapport

Marianne VILLEY – Agence d’Autun – Unité bâtiment
Tél. : +33(0)3 85 86 67 24
Courrier : Marianne.Villey@cerema.fr
1 Blvd Giberstein – BP 141 – 71404 AUTUN Cedex

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
Version 1	17/10/2022	Modification du chapitre 2 et ajout du chapitre 3
Version 2	06/01/2023	

Références

N° d’affaire : 22-CE-0069

Nom	Service	Rôle	Date	Visa
Marianne Villey	DTerCE	Auteur principal		
Louis Bourru	DTerO	Contributeur		
Noélie Carretero	DTerNC	Contributeur		
Arnaud Decobert	DTerHdF	Contributeur		
Laurent Guldner	DTerMed	Contributeur		
Anissa Ben Yahmed	DTerE	Contributeur		
Elodie Héberlé	DTerE	Contributeur		
Pascal Cheippe	DTecTV	Relecteur		

Résumé de l'étude

L'objectif de ce rapport sur « la prise en compte du carbone dans les projets de rénovations des bâtiments » est d'établir un état des lieux des pratiques actuelles en France et en ouverture à l'étranger. Le sujet du carbone dans les bâtiments est largement mis sur le devant de la scène pour les bâtiments neufs avec la RE 2020 et cela impactera nécessairement les actions de rénovations à moyen ou long terme. Le Cerema souhaite ainsi se tenir prêt à proposer des actions pertinentes dès 2022 sur cette thématique.

5 à 10 mots clés à retenir de l'étude

Rénovation	Carbone
Economie circulaire	Analyse de cycle de vie

Statut de communication de l'étude

Les études réalisées par le Cerema sur sa subvention pour charge de service public sont par défaut indexées et accessibles sur le portail documentaire du Cerema. Toutefois, certaines études à caractère spécifique peuvent être en accès restreint ou confidentiel. Il est demandé de préciser ci-dessous le statut de communication de l'étude.

-
- Accès libre : document accessible au public sur internet
 - Accès restreint : document accessible uniquement aux agents du Cerema
 - Accès confidentiel : document non accessible
-

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire [CeremaDoc](https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx), via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

Objet de l'étude

Le Cerema a souhaité recenser les connaissances et les méthodes d'évaluation des émissions de gaz à effet de serre dans les projets de rénovation des bâtiments.

L'objectif est d'établir un état des lieux des pratiques actuelles en France et à l'étranger. Le sujet du carbone dans les bâtiments est largement mis sur le devant de la scène pour les bâtiments neufs avec la RE 2020 et cela impactera nécessairement les actions de rénovation à moyen ou long terme.

SOMMAIRE

1. CONTEXTE	12
2. MÉTHODE TEST HQE PERFORMANCE ACV RÉNOVATION TEST NZC RÉNOVATION	14
2.1 Contexte des 2 études.....	14
2.1.1 1 ^{ère} étude : test HQE performance rénovation 2016-2018.....	14
2.1.2 2 ^{nde} étude : test Nzc rénovation 2019-2021.....	14
2.2 Périmètre de la méthode de calcul.....	15
2.3 Méthode de calcul utilisée.....	16
2.3.1 Test initial HQE performance ACV rénovation 2016.....	16
2.3.2 Test Nzc rénovation 2019-2021.....	16
2.4 Public cible.....	17
2.5 Données prises en compte.....	17
2.6 Principales hypothèses de la méthode du calcul ACV rénovation.....	17
2.7 Retour d'expérience disponible ?.....	18
2.7.1 Test HQE performance rénovation 2016-2018.....	18
2.7.2 Test Nzc rénovation 2019-2021.....	19
3. LA MÉTHODE QUARTIER ENERGIE CARBONE POUR LA RÉNOVATION	20
3.1 Contexte de la méthode.....	20
3.2 Détail de la partie de méthode portant sur l'ACV en rénovation.....	20
4. LABEL BBCA	22
4.1 Principes généraux.....	22
4.1.1 Qu'est-ce que l'association BBCA ?.....	22
4.1.2 Objectifs du label.....	22
4.1.3 Champ d'application / périmètre.....	22
4.1.4 Typologies de rénovations considérées.....	23
4.1.5 Hypothèses de modélisation.....	23
4.2 Hypothèses de calcul : étape 1 – émissions de GES et stockage carbone.....	24
4.2.1 Hypothèses de modélisation.....	24
4.2.2 Calcul des émissions GES du chantier.....	25
4.2.3 Stockage carbone.....	25
4.2.4 Calcul des émissions de GES de la phase exploitation.....	25

4.2.5 Total des émissions de GES et du stockage carbone.....	25
4.3 Hypothèses de calcul : étape 2 – innovation climat.....	26
4.3.1 Economie circulaire.....	26
4.4 Seuils et résultats.....	26
4.5 Lien.....	26
5. LABEL BAS CARBONE	27
5.1 Présentation générale.....	27
5.1.1 Objectifs de la méthode.....	27
5.1.2 Périmètre.....	27
5.2 Principe de la méthode.....	27
5.2.1 Scénario 1 : matériaux et produits issus du réemploi (usage identique).....	28
5.2.2 Scénario 2 : matériaux et produits issus du réemploi (avec changement d'usage).....	30
5.2.3 Scénario 3 : rénovation énergétique au niveau BBC rénovation.....	30
5.3 Eléments à fournir.....	33
5.4 Contrôle.....	34
6. IMPACT CARBONE DES DÉCONSTRUCTIONS	36
6.1 Contexte.....	36
6.2 Principes généraux.....	36
6.2.1 Périmètre des études.....	36
6.2.2 Objectifs des études.....	37
6.2.3 Unité déclarée.....	37
6.2.4 Outils utilisés.....	37
6.2.5 Les règles d'affectation.....	37
6.3 Hypothèses et limitations.....	38
6.3.1 Hypothèses du chantier de Nice.....	38
6.3.2 Hypothèses du chantier de St Briec.....	38
6.4 Résultats.....	39
6.4.1 Chantier de Nice.....	39
6.4.2 Chantier de St Briec.....	40
6.5 Interprétation des résultats.....	41
6.5.1 Chantier de Nice.....	41
6.5.2 Chantier de St Briec.....	42
6.6 Conclusion.....	43
7. GRILLE DE LECTURE DES APPROCHES « BAS CARBONE » DANS LA RÉNOVATION DANS DIFFÉRENTS RÉFÉRENTIELS	44

7.1 Les rénovations « bas carbone » dans les approches locales.....	44
7.2 L'approche « bas carbone » de la méthode MFA – Synthèse.....	44
7.3 L'approche « bas carbone » du label HQE Rénovation - certification NF HQE.....	47
8. FOCUS SUR LA CERTIFICATION BREEAM	61
8.1 Présentation de BREEAM.....	61
8.2 Focus sur l'impact carbone de BREEAM.....	62
8.2.1 Pour les bâtiments qui ne relèvent pas du logement individuel.....	62
8.2.2 Pour le logement individuel.....	62
8.3 Focus sur le sous-critère MAT 01.....	63
8.3.1 Pour les bâtiments qui ne relèvent pas du logement individuel.....	63
8.3.2 Pour le logement individuel.....	64
8.4 Conclusion.....	64
9. ETAT DE L'ART SCIENTIFIQUE SUR L'IMPACT CARBONE DES RÉHABILITATIONS.	65
9.1 Introduction.....	65
9.2 Contexte et problématiques.....	66
9.3 Performances des projets de réhabilitation.....	67
9.4 Retours sur investissement carbone.....	69
9.5 Méthodologie et périmètres dans le cadre des ACV.....	70
9.6 Méthodologies hors ACV.....	72
9.7 Limites des modèles.....	73
10. CONCLUSION	74
RÉFÉRENCES	75

1. CONTEXTE

L'objectif de neutralité carbone en 2050 que la France s'est fixée demande une réduction par 6 des émissions de gaz à effet de serre en 2050 par rapport à 1990. Cela implique donc une décarbonation majeure des secteurs de l'énergie, des transports et du bâtiment.

Pour le secteur du bâtiment, la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) fixe comme objectifs :

- Massifier la rénovation énergétique en agissant à la fois sur la rénovation de l'enveloppe et en améliorant l'efficacité énergétique et climatique des systèmes (chauffage, eau chaude sanitaire, cuisson...)
- Développer des filières locales visant la production et la mise en œuvre de matériaux de construction et de rénovation peu carbonés
- Développer des filières de recyclage des matériaux et déchets du BTP valorisables dans une analyse en cycle de vie des bâtiments.

Un groupe de travail de 6 personnes du Cerema a été créé afin de réaliser l'état des lieux des pratiques actuelles en France sur la prise en compte de l'impact carbone lors de travaux de rénovation. Chaque membre du groupe a produit une note sur une pratique existante, en France ou à l'international :

- Louis Bourru, DTerO : Méthode test HQE performance ACV rénovation test NZC rénovation
- Laurent Guldner, DTerMed : Label BBCA
- Arnaud Decobert, DTerNP : Label Bas Carbone
- Marianne Villey, DTerCE : Impact carbone des déconstructions
- Noélie Carretero, DTerNC : Grille de lecture des approches « bas carbone » dans la rénovation dans différents référentiels
- Anissa Ben Yahmed et Elodie Héberlé, DTerE : Focus sur la certification BREEAM et Etat de l'art scientifique sur l'impact carbone des réhabilitations.

Cette synthèse aurait pu être complétée par la dernière version du projet « NZC rénovation » de l'Alliance HQE sortie le 6 janvier 2022, soit après notre répartition des contributions.

En complément à la certification BREEAM (la plus représentée à l'internationale), peuvent être citées les certifications internationales suivantes :

- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) pour les Etats-Unis, également présent au Canada,
- DGNB (Deutsches Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen) pour l'Allemagne,
- CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) pour le Japon
- Green Star en Australie...

Sur les aspects environnementaux, ces certifications ont des rubriques similaires avec deux axes qui sont :

- Le respect de la planète : exigences orientées vers l'économie des ressources naturelles et la limitation des impacts environnementaux,
- Le respect de l'Homme : exigences orientées vers le confort et la santé des usagers.

Au niveau du territoire français, de multiples démarches émergent localement. Elles s'appuient généralement sur les grands principes du référentiel français HQE avec des adaptations liées au contexte régional. Voici quelques exemples :

- Démarche BDM (bâtiments durables Méditerranéens),
- Démarche BDF (bâtiments durables Franciliens),
- Démarche BDO (bâtiments durables Occitanie),
- Démarche BDNA (bâtiments durables Nouvelle Aquitaine) ...

Suite à cette étude bibliographique sur l'impact carbone des rénovations, nous souhaiterions approfondir ce sujet sur les points suivants :

- Développement d'une « base de données » de l'impact des démolitions. Echelle à définir : gros œuvre uniquement ? ou second œuvre également ?
- Abonder l'étude « NZC rénovation » à partir de nouveaux exemples, notamment tertiaire dans le cadre du décret tertiaire,
- Enrichir la base de données INIES sur les produits de construction anciens, indispensable pour réaliser des ACV de réhabilitation de bâtiments patrimoniaux.

2. MÉTHODE TEST HQE PERFORMANCE ACV RÉNOVATION TEST NZC RÉNOVATION

2.1 Contexte des 2 études

2.1.1 1^{ère} étude : test HQE performance rénovation 2016-2018

En 2017, l'Alliance HQE-GBC a lancé un **test HQE Performance** pour les **bâtiments existants** afin d'apporter un cadre méthodologique, basé sur la norme EN 15 978, adapté à cette typologie de bâtiment : les **bâtiments rénovés**, quelle que soit l'ambition de la rénovation sous la forme d'un Addendum au référentiel E+C- pour les bâtiments rénovés. Ces travaux ont permis de définir pour une première mondiale une méthode pour l'**ACV** des bâtiments rénovés applicable à tous types de **rénovation**. Le test HQE Performance 2017 a réuni 23 projets de bâtiments rénovés, soit un groupe de 70 personnes aux profils diversifiés : maîtres d'ouvrage, maîtrises d'œuvre, industriels, certificateurs, experts... issus de tout l'hexagone.

Le Cerema a participé à l'expertise technique du test et a modélisé 3 bâtiments

Le test a débuté en novembre 2016 et s'est terminé par la publication des résultats en janvier 2019 dans le document « Premières observations - Bâtiments rénovés au regard de E+C- et de l'économie circulaire » .

Etant donnée l'hétérogénéité des résultats obtenus pour les 23 bâtiments tests, le manque de données sur certains et les interprétations différentes selon les modélisateurs, l'association HQE a demandé au bureau d'études AIA de re-simuler 10 cas tests parmi les 23 pour pouvoir présenter des résultats homogènes dans le document final publié.

Site internet : <http://www.hqegbc.org/respect-environnement/acv-indicateurs/acv-batiment-renovation/>

2.1.2 2^{nde} étude : test Nzc rénovation 2019-2021

Souhaitant approfondir cette démarche, l'Alliance HQE-GBC, grâce au financement de la Fondation Redevco et avec l'appui technique d'AIA Environnement, a lancé en janvier 2019 un appel à projets afin de **consolider la méthodologie d'évaluation et trouver des leviers pertinents pour réduire les émissions de carbone dans les bâtiments existants**.

Le programme visait à identifier une méthode cohérente pour augmenter la performance des bâtiments existants sur l'ensemble du cycle de vie, en se concentrant sur des **cas d'étude représentatifs** et ainsi mettre en évidence des leviers efficaces pour la réduction des émissions de carbone sur le marché français.

Le projet était constitué de trois étapes :

1. Le réajustement de la **méthode ACV rénovation** réalisée en collaboration avec AIA ENVIRONNEMENT lors du test HQE Performance 2017
2. La **réalisation d'études de cas** représentatifs et de son optimisation.

3. L'écriture d'un **guide de bonnes pratiques** et la réalisation d'une **étude technico-économique** des projets d'optimisation pour se rapprocher de la neutralité carbone (NZC = Net Zero Carbon)

L'objectif était également de partager ces travaux à travers l'Europe en mettant à disposition en anglais la méthodologie et les études de cas réalisés.

Les résultats du test sont disponibles ici : www.hqegbc.org/wp-content/uploads/2021/04/NZC-rendu-Phase-2-08032020-Ind-E.pdf

Les 7 cas d'études retenus correspondent à une famille de projet **représentative** et **duplicable** à l'échelle du marché français. L'avancement suffisant du projet et la disponibilité de données spécifiques et argumentées ont également constitué des conditions sine qua non pour permettre la réalisation de l'ACV. Un atelier de réflexion avec les experts de la rénovation bas carbone a eu lieu le vendredi 12 Février 2021. Plus d'informations sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.hqegbc.org/quels-leviers-pour-la-renovation-bas-carbone/>.

Les livrables finaux :

L'alliance HQE a publié et présenté les résultats du test NZC rénovation en janvier 2022. Ils peuvent être retrouvés ici : <https://www.hqegbc.org/international/nzc-renovation/>

Les résultats du programme NZC Rénovation ont été dévoilés à l'occasion du webinaire *Quels leviers pour une rénovation vraiment bas carbone ?* qui a eu lieu le jeudi 6 janvier 2022 et a proposé 2 enseignements principaux :

- 1) La définition d'un critère de « temps de retour carbone », permettant de situer l'efficacité d'un projet de rénovation au regard de son impact carbone : il consiste à évaluer au bout de combien d'années l'impact des produits neufs posés lors de la réhabilitation est amorti (grâce aux réductions d'émissions réalisées sur les économies d'énergie).
- 2) La proposition de 5 leviers à activer en priorité pour permettre le caractère bas carbone d'une rénovation :
 - Tacticité : Préserver l'existant, pas de matériau inutile, réinterroger la valeur d'usage
 - Circularité : Réemploi in situ, ex situ, déconstruction sélective, récupération de ressources
 - Matérialité : Mixité constructive, éco matériaux adaptés à la rénovation
 - Technicité : Conception low-tech, discernement digital, la bonne technologie au bon endroit
 - Externalité : Partage et mutualisation avec les voisins, compensation avec des externalités positives sur le territoire.

L'alliance HQE met à disposition l'ensemble des résultats de cette étude sur son site internet :

- [NCZ Rénovation – Rapport optimisation et scénarios des cas génériques retenus](#)
- [NZC Rénovation – Carnet des leviers bas-carbone pour la rénovation](#)

2.2 Périmètre de la méthode de calcul

Pour les 2 tests, le périmètre était le même et la méthode peut être appliquée à tout type de rénovation, (même si elle est plutôt pertinente pour une rénovation importante, étant donné le temps à consacrer pour modéliser le bâtiment).

L'opération de réhabilitation ou de rénovation peut être un bâtiment ou une partie de bâtiment correspondant à une entité programmatique. Une entité programmatique est un ensemble d'espaces d'une même activité sous la responsabilité d'un même maître d'ouvrage.

L'évaluation est réalisée sur le bâtiment et sa parcelle : aménagements extérieurs, raccordements aux réseaux, voirie, production d'électricité sur des espaces attenants... Elle peut porter sur plusieurs bâtiments.

Les services rendus tels que l'exportation d'énergie sont pris en compte dans la performance environnementale et font l'objet de règles d'affectation.

La méthode prend en compte le même périmètre spatial et temporel que E+C-.

2.3 Méthode de calcul utilisée

2.3.1 Test initial HQE performance ACV rénovation 2016

Les règles d'application d'évaluation de la **performance environnementale** des bâtiments existants sont une continuité de la méthode d'évaluation du référentiel « **Energie – Carbone** », lui-même basé sur la norme NF EN 15 978. Cette méthode est basée sur la partie évaluation environnementale du Référentiel « Energie-Carbone » pour les bâtiments neufs et seuls les calculs spécifiques aux bâtiments existants sont détaillés dans le document Addendum. L'addendum a été conçu par le CSTB, relu par le Cerema et publié en **novembre 2018** en V1.

Cette méthode basée sur l'ACV E+C- présente les singularités suivantes :

- Prise en compte des **éléments conservés** avec un amortissement correspondant à l'âge du composant par rapport à la durée de vie type ;
- Prise en compte des **éléments déposés** ;
- Méthodologie de prise en compte des **matériaux réemployés** le cas échéant.

2.3.2 Test Nzc rénovation 2019-2021

Une seule modification à la méthode 2018 a été réalisée.

Extrait du guide ACV rénovation :

« Nous avons constaté que l'amortissement des PCE ayant une durée de vie supérieure à 50 ans est assujéti à plusieurs interprétations :

- Le calcul de l'amortissement suggère de prendre en compte la durée de vie de référence des PCE en dénominateur.
- Dès lors que la rénovation intervient après 50 ans, l'ensemble des matériaux sont amortis même si la DVR du produit est supérieur à 50 ans. Cependant dans le calcul

cela crée un effet de seuil pour l'impact des matériaux ayant une DVR de 100 ans. En effet leur amortissement à la 49-ème année est de 49/100 et à la 50-ème année on considère qu'ils sont amortis. Nous proposons de rectifier le calcul de l'amortissement afin de limiter l'effet de seuil en proposant l'ajout suivant :

Amortissement = Durée de Vie Résiduelle PCE / min (Durée de Vie de Référence PCE ; Durée de Vie du bâti) ».

2.4 Public cible

Cette méthode est destinée aux mêmes acteurs que ceux ayant utilisé E+C- mais pour les rénovations de bâtiments existants. Le calcul est réalisé par un bureau d'étude.

Cependant, la méthode permet seulement de connaître l'impact d'un projet de rénovation de bâtiment. Et ne permet pas de le comparer immédiatement à une démolition reconstruction (voir paragraphe « hypothèses de calcul »)

2.5 Données prises en compte

Le périmètre des données d'entrée est le même que pour E+C- : parcelle + bâtiment + exploitation sur 50 ans. Cependant, la grande différence avec une ACV de bâtiment neuf E+C- réside dans le fait que l'on doit définir les éléments conservés, déposés et les éléments neufs apportés.

Ainsi, pour les éléments conservés et déposés, l'opérateur doit vérifier **la durée de vie restante et en compter l'impact si le composant n'était pas amorti**. Il faut donc normalement connaître l'historique de chaque composant (durée de vie type, date de pose, date de remplacement...). **Ce qui rend difficile l'application de la méthode.**

De plus, pour qualifier l'impact environnemental d'un produit existant, il faut disposer d'une déclaration environnementale (FDES). Or, ces données n'existaient pas à l'époque.

Par exemple, INIES ne comporte pas de FDES pour une menuiserie bois simple vitrage de 1950.

L'opérateur doit donc se baser sur des fiches ressemblant à son produit, disponibles dans INIES.

Cette réflexion est également valable pour l'ajout d'éléments neufs mais sur-mesure, par exemple, des éléments patrimoniaux (menuiserie simple vitrage bois moulurée...) lors de la rénovation. Ou l'ajout d'éléments neufs mais réalisés in-situ par des artisans (plâtrerie, chaux aérienne...).

Car pour l'instant, dans la base INIES, on ne trouve principalement que des éléments industriels et manufacturés contemporains.

2.6 Principales hypothèses de la méthode du calcul ACV rénovation

La principale différence avec la méthode « E+C- bâtiments neufs » réside dans le traitement des éléments conservés et déposés : Dans cette méthode ACV rénovation, les **impacts**

environnementaux des produits de construction et équipements sur leur **cycle de vie** ne sont pas instantanés ni phasés, mais sont lissés sur toute la durée de vie des **produits et équipements**, produisant un effet d'**amortissement**. Avec une hypothèse linéaire, si un produit a une durée de vie de X années, on amortira chaque année $1/X$ fois son impact environnemental sur le « total cycle de vie ». C'est une vision comptable de l'**ACV** : si les produits et équipements installés dans le bâtiment initial ont déjà été amortis sur la période d'étude prise en compte dans l'analyse de cycle de vie (fictive ou non) de ce bâtiment initial, ils ne doivent plus être comptabilisés.

Ainsi, les impacts liés aux **produits et équipements conservés** et **déposés** lors d'une opération de **réhabilitation** ne sont comptabilisés que s'ils ne sont pas amortis.

Les **impacts environnementaux** des PCE neufs et des fluides frigorigènes sont calculés comme dans le cas d'un **bâtiment neuf**, soit 100% des impacts.

Les éléments déposés : ceux enlevés du bâtiment.

Les éléments conservés : ceux qui restent dans le bâtiment y compris le réemploi.

Les éléments neufs : ceux ajoutés dans le bâtiment qui peuvent être issus d'un réemploi ou d'une réutilisation hors site.

C'est cette spécificité de la méthode ACV rénovation qui rend difficile la comparaison entre un projet de rénovation et un projet de démolition reconstruction.

Actuellement, dans E+C- ou dans la RE 2020, si l'on construit un bâtiment neuf après avoir démolé un bâtiment sur la même parcelle, **seul l'impact du bâtiment neuf est modélisé**.

Donc, pour pouvoir comparer un projet de rénovation et un projet de démolition reconstruction, il faudra :

- Modéliser l'impact des éléments détruits (on peut les appeler « déposés ») qui n'étaient pas encore amortis + l'impact du chantier de démolition (énergie, eau) → utilisation pour cela de la méthode ACV rénovation.
- Les ajouter à l'impact du projet de bâtiment neuf évalué avec la méthode E+C-
- Puis les comparer à l'ACV du projet de rénovation modélisé par la méthode ACV rénovation.

Pour l'instant, nous n'avons pas connaissance de projets où l'ACV de la phase démolition a été réalisée selon cette méthode. On peut cependant citer l'étude du Cerema (Tiffany Desbois) sur l'ACV de la démolition d'un immeuble : https://www.cerema.fr/system/files/documents/2022/02/webinaire_acv_demolition_batiment_tdesbois.pdf , voir chapitre 5 de ce rapport.

Problème lié : les 2 tests HQE performance présentent leurs résultats essentiellement sur les cas où sont comparés 1 bâtiment rénové et 1 bâtiment neuf type qui serait construit sur une parcelle déjà vierge. On se situe donc dans le cas où un maître d'ouvrage hésite entre rénover un bâtiment et construire un bâtiment neuf sur une autre parcelle libre. Or la comparaison n'est pas effectuée entre un projet de rénovation et un projet de démolition reconstruction sur une parcelle donnée identique

2.7 Retour d'expérience disponible ?

2.7.1 Test HQE performance rénovation 2016-2018

Page de présentation du test (comportant les liens de résultats et méthode en bas de page) :

<http://www.hqegbc.org/respect-environnement/acv-indicateurs/acv-batiment-renovation/>

Le guide d'application de la méthode ACV rénovation :

http://www.hqegbc.org/wp-content/uploads/2018/10/20181115_Guide_ACV_Batiment_R%C3%A9novation_AddendumEC-.pdf

La méthode de calcul Addendum à E+C- : www.hqegbc.org/wp-content/uploads/2018/10/20181113_R%C3%A9f%C3%A9rentiel-HQE-Existant_v1.pdf

Les résultats sur les 10 bâtiments fiabilisés :

<http://www.hqegbc.org/wp-content/uploads/2019/01/20190131-Premi%C3%A8res-observations-B%C3%A2timents-r%C3%A9nov%C3%A9s-au-regard-de-EC-et-de-l%C3%A9conomie-circulaire.pdf>

2.7.2 Test Nzc rénovation 2019-2021

Page de présentation du test (comportant les liens de résultats et méthode en bas de page) :

<http://www.hqegbc.org/le-projet-nzc-renovation/>

Les résultats du test sur les 7 bâtiments (avril 2021) : <http://www.hqegbc.org/wp-content/uploads/2021/04/NZC-rendu-Phase-2-08032020-Ind-E.pdf>

Une page sur l'atelier du 12 février 2021 sur les leviers bas carbone en rénovation : <http://www.hqegbc.org/quels-leviers-pour-la-renovation-bas-carbone/>

La page du rapport final : <https://www.hqegbc.org/ressources/probleme-nzc-renovation-rapport-optimisation-et-scenarios-des-cas-generiques-retenus/>

La page sur le carnet des leviers identifiés par le test : <https://www.hqegbc.org/ressources/nzc-renovation-carnet-des-leviers-bas-carbone-pour-la-renovation/>

Le lien du webinaire de présentation finale du test : <https://www.youtube.com/watch?v=6lYo-clwnOaw>

3. LA MÉTHODE QUARTIER ENERGIE CARBONE POUR LA RÉNOVATION

3.1 Contexte de la méthode

Nous nous intéressons ici à une petite partie (l'ACV rénovation) d'une méthode de calcul développée ces dernières années pour évaluer l'impact carbone à l'échelle d'un quartier : la méthode quartier énergie carbone.

Son financeur, l'ADEME, la présente ainsi sur la [page internet permettant de télécharger le détail de la méthode](#) :

« La méthode Quartier Énergie Carbone a pour objectif l'évaluation quantitative et prédictive de la performance carbone et énergétique d'un quartier (ou d'un projet d'aménagement) selon les règles de l'analyse de cycle de vie (ACV) à partir d'un programme, d'un contexte (local et national) et d'une liste de stratégies urbaines et de leviers actionnés ou non par les acteurs du projet.

Cette méthode est conçue pour être mobilisée dans les phases amont de conception du projet. Plus spécifiquement,

- En accompagnant l'aménageur et ses partenaires dans les phases d'élaboration du programme avec les collectivités et les propriétaires,
- En passant par la rédaction des fiches de lots destinées aux promoteurs et constructeurs jusqu'au suivi des choix effectivement mis en œuvre lors du chantier.

La démarche est adaptée pour des quartiers totalement neufs ou incluant un tissu existant. Plus qu'une simple méthode comptable, l'ambition de la méthode Énergie Carbone est de servir d'outil d'aide à la décision adapté à chaque phase du projet de conception (données d'entrées disponibles et choix à arrêter). Dans ce but, elle cherchera à mettre en évidence à chaque phase les enjeux clés et leviers les plus performants pour le projet considéré afin de servir autant de méthode d'évaluation que de guide à la conception.

La méthode est accompagnée d'un document Excel rassemblant les données, valeurs types, enrichisseurs, base de données et conventions permettant à tout un chacun de réaliser le calcul (ou de comprendre les hypothèses utilisées). »

Le projet de recherche **Quartier Energie Carbone** a été conduit de 2018 à 2022, et a permis d'aboutir à une méthode d'évaluation des émissions de GES d'un projet de quartier, qui a été ensuite implémentée dans l'outil UrbanPrint développé par Efficacity et le CSTB.

3.2 Détail de la partie de méthode portant sur l'ACV en rénovation

La prise en compte de l'impact carbone des rénovations de bâtiments existants dans le quartier est explicitée dans les pages 25 à 29 du rapport de présentation de la méthode de calcul ACV quartier.

Cette méthode constitue une approche très intéressante de l'ACV rénovation, par le fait qu'elle simplifie et améliore la méthode utilisée lors des tests HQE performance évoqués ci-avant.

Les principales modifications apportées par rapport à NZC rénovation sont les suivantes :

- L'impact des produits déposés se résume à la prise en compte de leur fin de vie : on ne prend plus en compte l'amortissement de la vie en œuvre qui n'aurait pas été terminé. Cette approche simplifie grandement l'application de l'ACV aux rénovations, puisqu'il n'est plus nécessaire de connaître précisément l'historique de la date de pose des éléments du bâtiment.
- Cette hypothèse est également utilisée pour chiffrer l'impact d'éventuels déconstructions totales.
- La méthode permet de comparer correctement les démolition- reconstruction neuves et les rénovations, puisqu'elle demande de bien prendre en compte la démolition préalable dans les projets neufs. Et qu'elle compte également l'impact de l'entretien des bâtiments conservés sans rénovation.
- La méthode propose dans un tableau Excel des forfaits d'impact d'une démolition pour chaque lot et pour chaque type de bâtiment, qui peuvent être utilisés lorsque l'on manque de temps ou de données sur le sujet. Ces données sont issues de l'observatoire E+C- fiabilisé.
- La méthode propose dans un tableau Excel des forfaits d'impact d'un bâtiment rénové pour chaque lot et pour chaque type de bâtiment, qui peuvent être utilisés lorsque l'on manque de temps ou de données sur le sujet. Ces données sont issues de l'observatoire E+C- fiabilisé.

Cette méthode simplifiée et enrichie présente donc l'avantage de permettre de pouvoir comparer sur une base égalitaire les projets de rénovation et les projets de déconstruction-reconstruction neuve.

Des pistes de travail pour l'améliorer et l'enrichir seraient :

- Fiabiliser les données forfaitaires « démolition » sur la base d'étude de cas réelles dont le calcul détaillé aurait été réalisé pour chaque typologie de bâtiments.
- Fiabiliser de même les données forfaitaires « bâtiment type rénové »

4. LABEL BBKA

4.1 Principes généraux

4.1.1 Qu'est-ce que l'association BBKA ?

Association pour le développement du Bâtiment Bas Carbone créée en 2015 et reconnue d'intérêt général en janvier 2017. Elle rassemble 120 membres de l'acte de construire et se donne pour mission de mobiliser les professionnels sur l'urgence à réduire l'empreinte carbone des bâtiments.

Elle a lancé en 2016 le référentiel BBKA pour la construction neuve et a posé l'esquisse de la mesure du quartier bas carbone.

4.1.2 Objectifs du label

Trois objectifs recherchés par le label :

- **Réduire** les émissions de GES :
 - Pour la phase construction : les impacts sont calculés au prorata des lots impactés et sont comparés à des valeurs de référence correspondantes à une construction neuve de même usage ;
 - Pour la phase exploitation : l'objectif est de valoriser une diminution de 50% des émissions liées aux consommations d'énergies par rapport au bâtiment initial. Le calcul se base sur la RT Existant global et sur des ratios calculant l'impact des énergies utilisées dans l'expérimentation E+C-.
- **Stocker** du carbone via le recours à des produits biosourcés ;
- Innover pour le climat : le label met également l'accent sur **l'économie circulaire** qui n'est que partiellement prise en compte dans les ACV bâtiments (uniquement lorsque les process de fabrication de produits de construction en tiennent compte).

Spécifiquement pour la rénovation, le label valorise les quatre axes suivants :

- Maximiser la conservation des matériaux existants ;
- Favoriser l'économie circulaire ;
- Provilégier le bas carbone pour les matériaux neufs ;
- Préserver ou accroître le stockage carbone.

Le label BBKA reprend le principe de calcul d'ACV en ne s'intéressant qu'à un seul indicateur, les émissions de gaz à effet de serre.

4.1.3 Champ d'application / périmètre

Champ d'application :

Le label s'applique à tous les bâtiments existants faisant l'objet de travaux de rénovation dont la typologie finale (après rénovation) est :

- Bâtiment tertiaire de bureaux (hors IGH) ;
- Logements collectifs.

Périmètre d'évaluation :

Permis de construire : bâtiment, sa parcelle et la déconstruction des parties existantes. Le label peut porter sur plusieurs bâtiments si ceux-ci font l'objet d'un permis de construire ou de demande de travaux unique.

Le périmètre du calcul est identique à celui de l'expérimentation E+C-, contributeurs : chantier, PCE, consommations et rejets d'eau en exploitation, consommations d'énergie en exploitation.

La période d'étude de référence (durée du calcul de l'ACV) est de **50 ans**.

L'indicateur retenu est exprimé en **kg équivalent CO2 par m² de SDP**.

Le label peut s'appliquer à un ouvrage réalisé par un tiers, une section détaille la manière dont s'applique le label dans ce cas.

Cas d'une création de surface :

Si la surface de l'extension est supérieure à 150m² alors celle-ci est soumise au label NEUF.
Pour que l'extension soit soumise au label Rénovation, il faut que :

$$\text{Impact carbone de la surface créée} < \frac{\text{Surface créée}}{\text{Surface totale}} \times \text{Impact carbone de la surface totale}$$

4.1.4 Typologies de rénovations considérées

- **Rénovation lourde** (avec ou sans changement d'usage) -> Périmètre du label identique à celui du permis de construire ou de la déclaration de travaux. Sont pris en compte les produits de construction et équipements nouveaux mis en œuvre, ceux déposés, le chantier, les consommations d'énergie et les consommations et rejets d'eau du bâtiment en phase d'exploitation ;
- **Rénovation thermique** -> au minimum les travaux concernent le changement des produits de construction liés à l'enveloppe (lot 4 et/ou 6) et les équipements influençant la performance thermique. Seuls les lots impactés par les travaux sont inclus dans le périmètre du label avec une démarche lot par lot. Il est également nécessaire de respecter le calcul RT existant global ;
- Rénovation partielle -> ne peut pas obtenir le label mais peut uniquement suivre la méthodologie afin de limiter les émissions de GES.

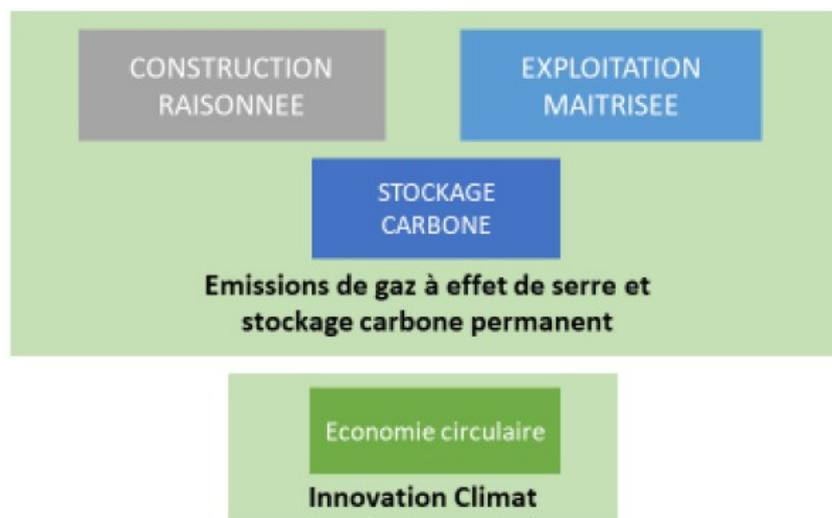
4.1.5 Hypothèses de modélisation

La complétude, la modélisation simplifiée et le choix des données environnementales reprend les règles de l'expérimentation E+C- à l'exception prêt qu'à l'étape de conception uniquement il est possible d'utiliser des données environnementales équivalentes aux PCE envisagés. Pour la phase de réalisation, ces valeurs équivalentes devront être remplacées par les données environnementales des PCE mis en œuvre.

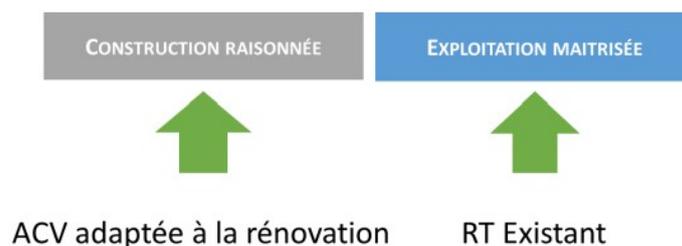
Cas des **bâtiments livrés en blanc** : utiliser des valeurs forfaitaires pour les lots n°5 « cloisonnement – doublage » et lot n°7 « revêtements des sols, murs et plafonds » qui correspondent au 9^{ème} décile des valeurs HQE Performance.

4.2 Hypothèses de calcul : étape 1 – émissions de GES et stockage carbone

Le label se base sur l'obtention d'un score carbone calculé en 2 étapes, le calcul des émissions de GES et du stockage carbone, puis le calcul de l'innovation climat :

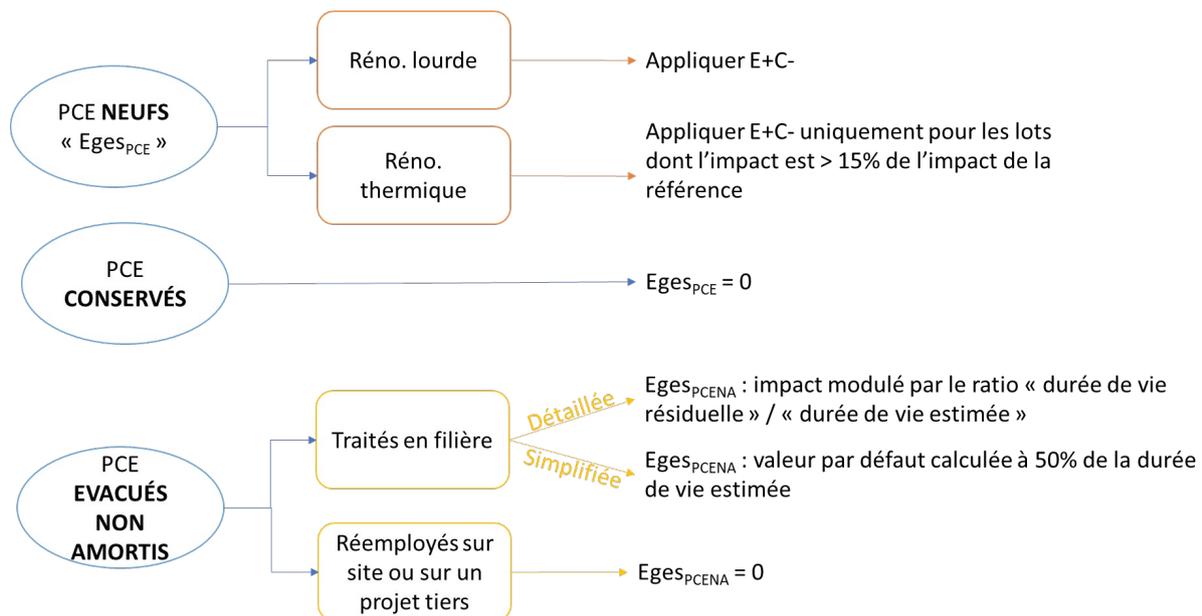


Le calcul des émissions de GES repose sur ce que BBCA appelle « la construction raisonnée » et « l'exploitation maîtrisée » :



4.2.1 Hypothèses de modélisation

Le référentiel BBCA prend en compte différents cas en fonction de l'origine des PCE évalués : neuf, conservés, et évacués non amortis.



4.2.2 Calcul des émissions GES du chantier

Le principe est identique à celui d'E+C-

4.2.3 Stockage carbone

Le calcul se fait pour les lots 1 à 7 et reprend directement la valeur du carbone biogénique en kg équivalent CO₂ inscrite dans les FDES.

L'indicateur tient compte du :

- La conservation du stock existant dans le bâtiment (positif)
- L'ajout de matière biosourcée (positif)
- La destruction du stock existant évacué ou non réemployé (négatif)

4.2.4 Calcul des émissions de GES de la phase exploitation

4.2.4.1 Contributeur consommations d'énergie

Reprend le principe E+C- en remplaçant le calcul RT2012 par un calcul des consommations d'énergie tous usages de la RT existant. La production locale d'électricité est soustraite aux énergies consommées.

Les impacts des énergies sont ceux d'E+C-.

Pour les réseaux de chaleur, le contenu CO₂ est celui déclaré et publié dans l'arrêté DPE. Pour un réseau de chaleur dont les valeurs ne sont pas publiées il est possible d'utiliser les valeurs déclarées pour la labellisation en faisant un dossier justificatif.

4.2.4.2 Contributeur consommations et rejets d'eau

Identique à E+C-.

4.2.5 Total des émissions de GES et du stockage carbone

$$Eges_{\text{Projet BBCA}} = Eges_{\text{PCE}} + Eges_{\text{PCENA}} + Eges_{\text{Livré en blanc}} + Eges_{\text{Chantier}} + Eges_{\text{Energie}} + Eges_{\text{eau}} + \text{Stockage carbone}$$

4.3 Hypothèses de calcul : étape 2 – innovation climat

4.3.1 Economie circulaire

Le label BBCA valorise sous forme de points les actions suivantes :

- Au niveau du chantier de rénovation :
 - La déconstruction sélective sur site -> 1 point attribué si un diagnostic ressource est réalisé et si des exigences relatives à la dépose méthodique ont été intégrées dans le DCE de l'entreprise de déconstruction/curage ;
 - La réutilisation de ressources du bâtiment pour la phase chantier
- Au niveau des PCE :
 - Le réemploi de PCE -> 1 point attribué pour 5kg/m²SDP de matériau réemployé
- Au niveau du bâtiment :
 - Mutualisation des parkings -> point = (Nb places surface évitées * 700 + Nb places souterrain évitées * 3000) / 10*SDP
 - Mutualisation des autres espaces -> 1 point pour 10kg d'émissions évitées par m² de SDP
 - Potentiel de changement d'usage ->
 - 1 point si le principe d'évolution est défini
 - 2 points si le dimensionnement de l'ouvrage et des composants intègre cette évolution
 - 3 points si un dossier complet décrit le processus
 - Potentiel d'extension -> 1 point pour chaque 10% d'augmentation. 3 points maximum.

4.4 Seuils et résultats

Les seuils Egés Projet BBCA sont propres au label BBCA et dépendent des typologies de bâtiments et des types de rénovation.

3 niveaux de résultats sont obtenus à partir d'une conversion des émissions GES en points : standard, performance et excellence. Une calculatrice disponible sur le site internet de BBCA permet de fournir ce résultat.

5 bâtiments présentent un retour d'expérience visible de manière très synthétique sur le site internet BBCA : on y trouve les informations sur le bâtiment, MOA, MOE, constructeur, certificateur et les prestations de travaux.

4.5 Lien

<https://www.batimentbas carbone.org/renovation-bas-carbone/>

5. LABEL BAS CARBONE

5.1 Présentation générale

Le label bas-carbone, porté par le ministère de la Transition écologique et solidaire, vise à contribuer aux objectifs climatiques de la France en favorisant l'émergence de projets de réductions d'émissions de gaz à effet de serre et de stockage du carbone dans les sols et la biomasse. Ce label vise ainsi à valoriser les démarches volontaires et allant au-delà de la réglementation et des pratiques courantes.

5.1.1 Objectifs de la méthode

- Valoriser la réduction des émissions de GES liée à l'emploi de matériaux ou produits moins émetteurs de GES,
- Inciter les maîtres d'ouvrage à se tourner vers le réemploi
- Orienter les maîtres d'ouvrage vers les rénovations énergétiques atteignant le niveau BBC afin notamment d'améliorer le confort des occupants, la qualité sanitaire et la sécurité dans les bâtiments.

5.1.2 Périmètre

5.1.2.1 Champ d'application

La méthode s'appuie sur le référentiel national Label Bas Carbone.

Cette dernière vise deux catégories d'opérations :

- Les opérations de rénovation énergétiques dont le niveau BBC rénovation à minima est atteint et qui font appel à des matériaux ou produits issus du réemploi, à des matériaux ou produits contribuant à la performance énergétique des bâtiments et à d'autres produits ;
- Les opérations de rénovation faisant appel à des matériaux ou produits issus du réemploi.

C'est méthode n'a pas pour but de valoriser des actions qui s'inscrivent dans un périmètre réglementaire ou dans le périmètre de dispositifs publics incitatifs.

La durée maximale de validité des projets est de 5 ans (réductions d'émissions quantifiées et valorisées financièrement dans une période de 5 ans à partir de la labellisation des travaux de rénovation).

1.1.1.1 Porteur de projet / Public cible

Le label et la méthode s'adressent à tout type de porteur de projet : collectivité, tertiaire, particuliers, ... Le porteur de projet doit remplir le document de projet et faire la demande de certification auprès de l'Autorité (entité en charge de la validation).

5.2 Principe de la méthode

La méthode repose sur la quantification d'impacts évités qui ne sont pas concernés par les dispositifs incitatifs ou réglementaires (programmes CEE, Ma prime rénov, RT existant, ...).

Avant tout, il est nécessaire de définir les termes nécessaires dans le cadre de cette méthode :

- 3 types de produits :
 - Produit valorisé : produit mis en œuvre dans le cadre de l'opération prétendant à la labellisation ;
 - Produit équivalent neuf : produit identique au produit valorisé, à l'état neuf ;
 - Produit substitué : produit neuf similaire au produit valorisé et qui aurait été utilisé en moyenne si le produit valorisé n'avait pas été mis en œuvre.
- 2 niveaux de caractérisation :
 - Fonction du produit (ex : isolation),
 - Catégorie du produit (ex : isolation en vrac).

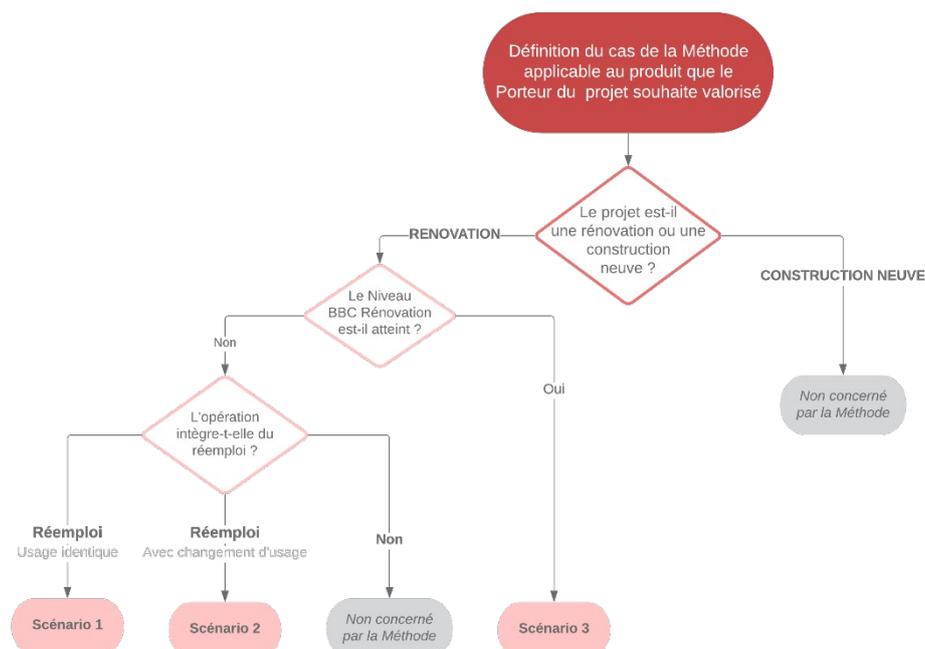
Détermination de ces niveaux de caractérisation en s'appuyant sur la nomenclature de la base INIES.

Le principe de la méthode est de définir les réductions d'émissions liées au recours d'un matériau à faible impact carbone (en kg équivalent CO₂) : différence entre l'impact carbone du scénario de référence, en se basant sur les produits dits substitués, et l'impact carbone de l'opération considérée, en se basant sur les produits dits valorisés.

Ainsi, trois indicateurs sont nécessaires :

- La quantité de produit valorisé : Q_{projet} ;
- L'impact carbone du produit de référence ou substitué : $I_{\text{référence}}$;
- L'impact carbone du produit valorisé : I_{projet} .

Trois scénarios sont envisagés et présentés dans la méthode :



Logigramme d'application de la méthode (Source : Label Bas Carbone - Méthode réemploi et matériaux bas carbone, CSTB)

5.2.1 Scénario 1 : matériaux et produits issus du réemploi (usage identique)

Les réductions d'émissions (RE) sont calculées via la formule suivante :

$$RE = \sum_{j=1}^n (I_{j \text{ référence}} * C_{EPERj} - I_{j \text{ projet}}) * Q_{j \text{ projet}}$$

Avec :

- n le nombre de produits valorisés issus du réemploi ;
- $Q_{j \text{ projet}}$ est la quantité réelle de produit valorisé j, en unité fonctionnelle ;
- $I_{j \text{ référence}}$ et $I_{j \text{ projet}}$ correspondent respectivement à l'impact du scénario de référence et l'impact du scénario de projet pour le produit valorisé j, en kg éq. CO₂ par unité fonctionnelle ;
- C_{EPERj} : coefficient d'évolution des performances, à évaluer uniquement dans le cas où la performance du produit valorisé est exprimée en W/m².K ou en m².KW, sans unité.

$Q_{j \text{ projet}}$ doit faire l'objet d'une justification (plans, justificatifs d'achat, ...).

$I_{\text{référence}}$ et I_{projet}

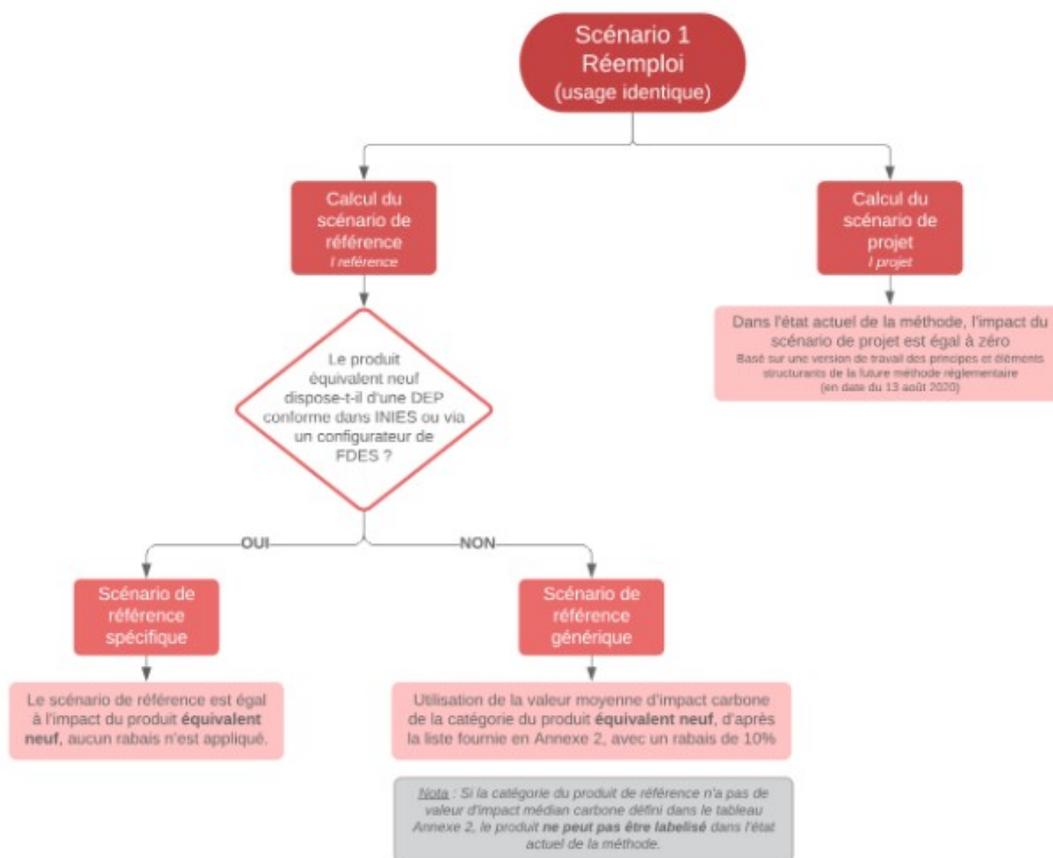
Il y a 2 cas :

- Référence spécifique : le produit équivalent neuf dispose d'une DEP conforme dans la base de données INIES : prise en compte de l'impact carbone du produit substitué sur son cycle de vie : phases A, B et C.

$$I_{\text{référence}} = I_{A \text{ eq neuf}} + I_{B \text{ eq neuf}} + I_{C \text{ eq neuf}}$$

- Référence générique : utiliser la valeur d'impact carbone moyen du produit équivalent neuf correspondant à sa catégorie, d'après la liste fournie. Un rabais de 10% est alors appliqué :

$$I_{\text{référence}} = I_{\text{substitué}} * 0.9$$



5.2.2 Scénario 2 : matériaux et produits issus du réemploi (avec changement d'usage)

Les réductions d'émissions (RE) sont calculées via la formule suivante :

$$RE = \sum_{j=1}^n (I_{j \text{ référence}} * C_{EPERj} - I_{j \text{ projet}}) * Q_{j \text{ projet}}$$

$I_{\text{référence}}$ et I_{projet}

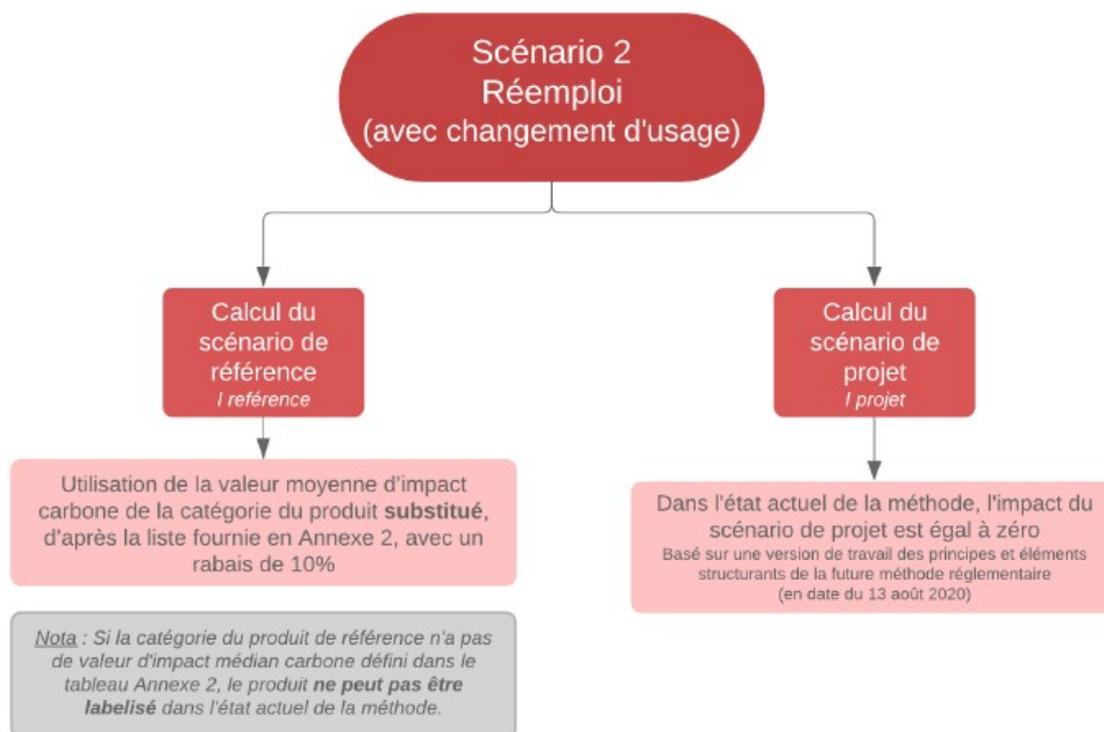
Le porteur de projet doit utiliser la valeur d'impact carbone moyen du produit de référence correspondant à sa catégorie, d'après la liste fournie.

Un rabais de 10% est appliqué pour prendre en compte l'incertitude associée au scénario de référence :

$$I_{\text{référence}} = I_{\text{substitué}} * 0,9$$

Par souci de cohérence, il est considéré que les valeurs des impacts pour tous les modules du cycle de vie sont nulles :

$$I_{\text{projet}} = 0$$



5.2.3 Scénario 3 : rénovation énergétique au niveau BBC rénovation

Opérations de rénovation faisant appel à la fois à des matériaux ou produits issus du réemploi et à d'autres produits et matériaux moins émetteurs que la moyenne.

$$RE = RE_{réemploi \text{ (usage identique)}} + RE_{réemploi \text{ (changement d'usage)}} + RE_{autres \text{ produits}}$$

Avec :

- $RE_{réemploi \text{ (usage identique)}}$ défini selon la méthodologie décrite dans le scénario 1 ;
- $RE_{réemploi \text{ (changement d'usage)}}$ défini selon la méthodologie décrite dans le scénario 2 ;
- Et $RE_{autres \text{ produits}}$ défini selon la méthodologie décrite ci-dessous.

$RE_{autres \text{ produits}}$

$$RE_{autres \text{ produits}} = \sum_{c=1}^n (I_{c \text{ référence}} * C_{EPERC} - I_{c \text{ projet}}) * Q_{c \text{ projet}}$$

Avec :

- n le nombre de catégories concernées (voir définition dans le paragraphe suivant) ;
- $Q_{c \text{ projet}}$ est la quantité réelle de produit mis en œuvre dans la catégorie c, en unité fonctionnelle de la catégorie c ;
- $I_{c \text{ référence}}$ et $I_{c \text{ projet}}$ correspondent respectivement à l'impact du scénario de référence et l'impact du scénario de projet pour la catégorie c, en kg éq. CO₂ par unité fonctionnelle de la catégorie c ;
- C_{EPERC} : coefficient d'évolution des performances, à évaluer pour chaque catégorie c, sans unité.

2 périmètres possibles pour définir le nombre de catégories n :

- Périmètre restreint : uniquement matériaux et produits contribuant à l'amélioration de la performance énergétique du bâtiment. Cela concerne ainsi les 2 fonctions et les 14 catégories suivantes : « Menuiseries intérieures et extérieures, fermetures » (fenêtres, portes fenêtres, fenêtres de toit, Portes, Volets, volets roulants, persiennes, stores, brise-soleil) et « Isolation » (caissons chevrons, panneaux de toiture, com-

plexes de doublage, Entrevous, hourdis isolants, ITE, ITI, Isolants thermiques et acoustiques pour combles, en vrac, pour toitures terrasses, sous chape, sous dalles. Le nombre n correspond ainsi au nombre de catégories parmi les 14 listées précédemment et **valident le fait de faire partie du périmètre de travaux et avoir 100% des produits et matériaux mis en œuvre dans sa catégorie possédant une FDES individuelle ou collective.**

- Périmètre élargi : ensemble des catégories listées dans l'annexe. Toutefois, il est nécessaire de faire intervenir un expert qui mènera un audit sur site pour déterminer les catégories de produits et matériaux devant être remplacés. Une visite avant travaux par l'expert permettra de définir si les matériaux et produits d'une catégorie sont suffisamment en bon état ou non pour être conservés sur site. S'ils ne le sont pas alors les catégories respectives seront prises en compte dans $RE_{\text{autres produits}}$. Les catégories faisant partie du périmètre doivent donc répondre aux conditions suivantes :
 - Faire partie des catégories listées dans le rapport de l'auditeur comme catégorie de produits et matériaux devant être remplacés,
 - Faire partie du périmètre des travaux,
 - Avoir 100% des produits et matériaux mis en œuvre dans sa catégorie possédant une FDES individuelle ou collective,
 - Et avoir une valeur d'impact carbone moyen défini dans l'annexe.

$I_{c \text{ référence}}$ (scénario de référence générique)

Calculé pour chacune des n catégories concernées.

Le porteur de projet doit utiliser la valeur moyenne d'impact carbone de la catégorie de référence correspondante (annexe).

$$I_{c \text{ référence}} = I_{c \text{ générique}} * 0,9$$

Avec : $I_{c \text{ générique}}$ la valeur moyenne d'impact carbone de la catégorie c donnée dans l'annexe 2.

$I_{c \text{ projet}}$ (scénario de projet)

Calculé pour chacune des n catégories concernées.

$$I_{c \text{ projet}} = \frac{\sum_{p=1}^m (I_{p \text{ produit FDES}} * Q_{p \text{ produit}})}{Q_{c \text{ projet}}}$$

Avec :

- m le nombre de produits et matériaux mises en œuvre dans la catégorie c ;
- $I_{p \text{ produit}}$ correspond à l'impact carbone du produit p donné dans sa FDES ((phases A, B et C – hors module D) ;
- $Q_{p \text{ produit}}$ est la quantité réelle de produit p mis en œuvre, en unité fonctionnelle de la catégorie c ;
- $Q_{c \text{ projet}}$ est la quantité réelle de produit mis en œuvre dans la catégorie c, en unité fonctionnelle de la catégorie c. Elle est donc calculée de la façon suivante : $Q_{c \text{ projet}} = \sum_{p=1}^m Q_{p \text{ produit}}$

$CEP_{ER c}$

Ce coefficient permet de tenir compte d'une éventuelle différence de performances entre le matériau ou produit valorisé et le scénario de référence. Il doit être considéré uniquement dans les cas où la performance principale du produit valorisé est un U_w (exprimée en $W/m^2.K$) ou une résistance thermique (en $m^2.K/W$).

A noter : Dans tous les autres cas de figure, il est considéré égal à 1. De même, si les performances en $W/m^2.K$ ou en $m^2.K/W$ n'ont pas évolué dans le temps, ce coefficient est égal à 1.

La formule est différente selon l'unité de la performance principale du produit valorisé :

- Si c'est un U_w (exprimée en $W/m^2.K$), la formule permettant de calculer le coefficient d'évolution des performances est la suivante :

$$C_{EPER\ c} = \frac{P_{référence\ c}}{P_{valorisé\ c}}$$

- Si c'est une résistance thermique (en $m^2.K/W$), la formule permettant de calculer le coefficient d'évolution des performances est la suivante :

$$C_{EPER\ c} = \frac{P_{valorisé\ c}}{P_{référence\ c}}$$

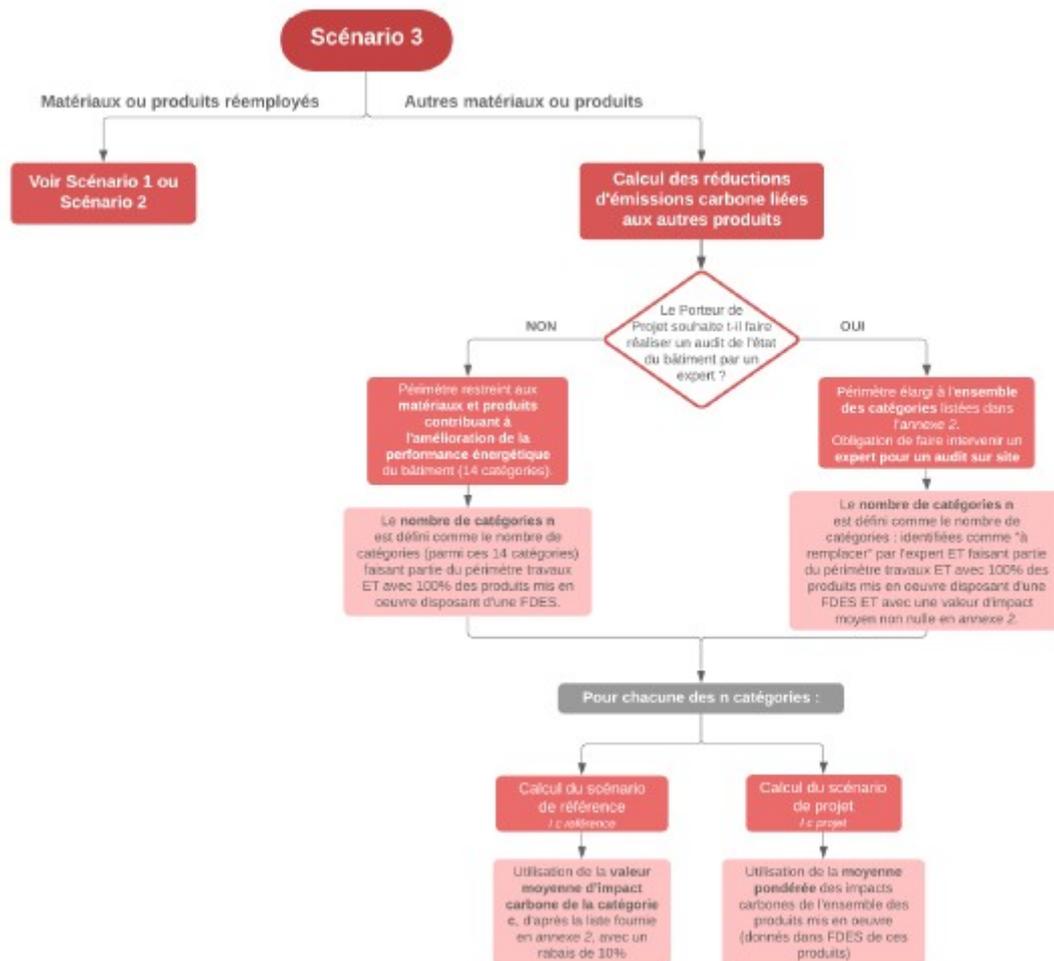
Avec, dans les 2 cas :

- $P_{référence\ c}$: performance principale moyenne de la catégorie de référence c. Il s'agit de la performance principale de référence $p_{générique}$ de la catégorie c du produit substitué, donnée dans l'Annexe 2.
- $P_{valorisé\ c}$: performance principale réelle de la catégorie c. Il s'agit de la moyenne pondérée des performances des matériaux et produits mis en œuvre dans la catégorie c. Elle est calculée de la façon suivante :

$$P_{valorisé\ c} = \frac{\sum_{p=1}^m (P_{valorisé\ p} * Q_{p\ produit})}{Q_{c\ projet}}$$

Avec :

- m le nombre de produits et matériaux mises en œuvre dans la catégorie c ;
- $P_{valorisé\ p}$ la performance principale donnée du produit p, donnée dans la FDES du produit utilisée ;
- $Q_{p\ produit}$ est la quantité réelle de produit p mis en œuvre, en unité fonctionnelle de la catégorie c;
- $Q_{c\ projet}$ est la quantité réelle de produit mis en œuvre dans la catégorie c, en unité fonctionnelle de la catégorie c. Elle est donc calculée de la façon suivante : $Q_{c\ projet} = \sum_{p=1}^m Q_{p\ produit}$



5.3 Eléments à fournir

Deux étapes :

- Notification et demande de labellisation via le Document Descriptif de Projet (sur le site Label Bas Carbone),
- Contrôle à la suite des travaux durant lequel le porteur de projet doit transmettre un rapport de suivi.



Avant la mise en œuvre du projet :

La première étape est donc la notification et la demande de labellisation, qui est réalisée au travers du *Document Descriptif de Projet* qui est disponible sur le site du Label Bas Carbone.

Ce document liste les pièces justificatives qui doivent être fournis à cette étape, notamment :

- Un acte de notoriété de moins d'un an justifiant la propriété du bâtiment objet du projet ;
- Coordonnées complètes du porteur de projet ;
- Adresse complète du projet ;
- Surface totale du bâtiment concerné ;
- Le cas échéant, la preuve de l'atteinte du niveau BBC rénovation ;
- Date prévisionnelle de fin des travaux.

Le *Document Descriptif de Projet*, demande également de donner une estimation de la réduction d'émission carbone que générera le projet. Pour cela, un tableur de calcul permettant de donner une estimation des réductions d'émissions carbone est fourni sur le site du Label Bas-Carbone.

Si une des conditions susmentionnées (identification claire des bâtiments concernés et de leurs propriétaires, descriptif des travaux, ...) manque lors du dépôt de dossier, celui-ci sera systématiquement rejeté par l'Autorité. Toutefois, le Porteur de projet pourra corriger les éléments manquants de son dossier et faire un nouveau dépôt.

Après les travaux :

Une trame de formulaire de rapport de suivi est présentée en *annexe 3* de la présente Méthode.

Ce rapport de suivi liste les pièces justificatives attendues, dont notamment les suivantes pour chaque matériau valorisé :

- Photos de l'installation du matériau ;
- Pour les « autres produits », dans le cas d'un choix de périmètre élargi :
 - Fiche technique des produits installés (type de matériau, marque, modèle, caractéristiques thermiques) ;
 - FDES des produits concernés ;
 - Justificatif des quantités de produit valorisé (facture des entreprises, facture d'achat de matériaux et produits, contrat de cession à titre gratuit) ;
 - Rapport de l'audit sur site par l'expert ;
- Pour les matériaux et produits réemployés :
 - Justificatif des quantités de produits et matériaux valorisés (facture des entreprises, facture d'achat de matériaux ou produits) ;
 - Justification de l'aptitude à l'emploi et de la performance du produit ou matériaux valorisé (le cas échéant)

Le Porteur de projet devra également fournir les pièces justificatives permettant de justifier les **impacts sociaux et environnementaux** indiqués dans le tableau 1 de la présente Méthode, pour les bonifications qu'il souhaite justifier.

Dans le cas où un acteur serait délégataire de plusieurs porteurs de projets (par exemple dans le cas de l'agrégation de plusieurs projets de rénovation de logements individuels), il devra également fournir une preuve du fait que chaque propriétaire lui transfère les droits de valoriser les réductions d'émission.

5.4 Contrôle

La vérification documentaire :

- Est obligatoire,
- Réalisée par un auditeur, aux frais du porteur de projet ou de son délégataire,
- L'auditeur est un organisme ou professionnel (professionnel du bâtiment, de l'audit, compétent et indépendant du porteur de projet,

Vérifications additionnelles de terrain : si le projet valorise plus de 200 T éq. CO₂, une vérification additionnelle de terrain sera nécessaire. Lors de cette vérification additionnelles, l'Auditeur viendra sur site afin de vérifier les quantités et les types de produits mis en œuvre.

Par ailleurs, si l'Auditeur cherche à valoriser en même temps différentes opérations pour une valorisation totale supérieure à 200 Teq.CO₂, une vérification de terrain également par tranche de 200 Teq.CO₂ (si la somme des réductions d'émissions valorisées sur plusieurs opérations est inférieure à 200 Teq.CO₂, aucune visite de terrain n'est requise ; entre 200 Teq.CO₂ et 400 Teq.CO₂ une visite de terrain est requise ; entre 400 Teq.CO₂ et 600 Teq.CO₂, deux visites de terrain sur deux opérations différentes sont requises ; ...).

6. IMPACT CARBONE DES DÉCONSTRUCTIONS

6.1 Contexte

Arrivé en fin de vie, un bâtiment doit faire l'objet d'une déconstruction pour répondre à de nouveaux besoins, améliorer le cadre de vie des habitants ou encore parce qu'une réhabilitation n'est pas envisageable d'un point de vue économique ou sécuritaire. Cette étape de fin de vie du bâtiment (comme pour les étapes de construction et d'utilisation) est consommatrice de ressources fossiles et génère un volume et une variété de déchets importants. Par une approche d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) les différents impacts environnementaux de deux chantiers de déconstruction ont été identifiés lors d'une étude menée par le Cerema. Le premier se situe à Nice (ACV réalisée en 2016) et le second à St Brieuc (ACV réalisée en 2018). Ces 2 études de cas ont donné lieu à des recommandations méthodologiques dans l'objectif d'optimiser la fin de vie des matériaux de déconstruction.

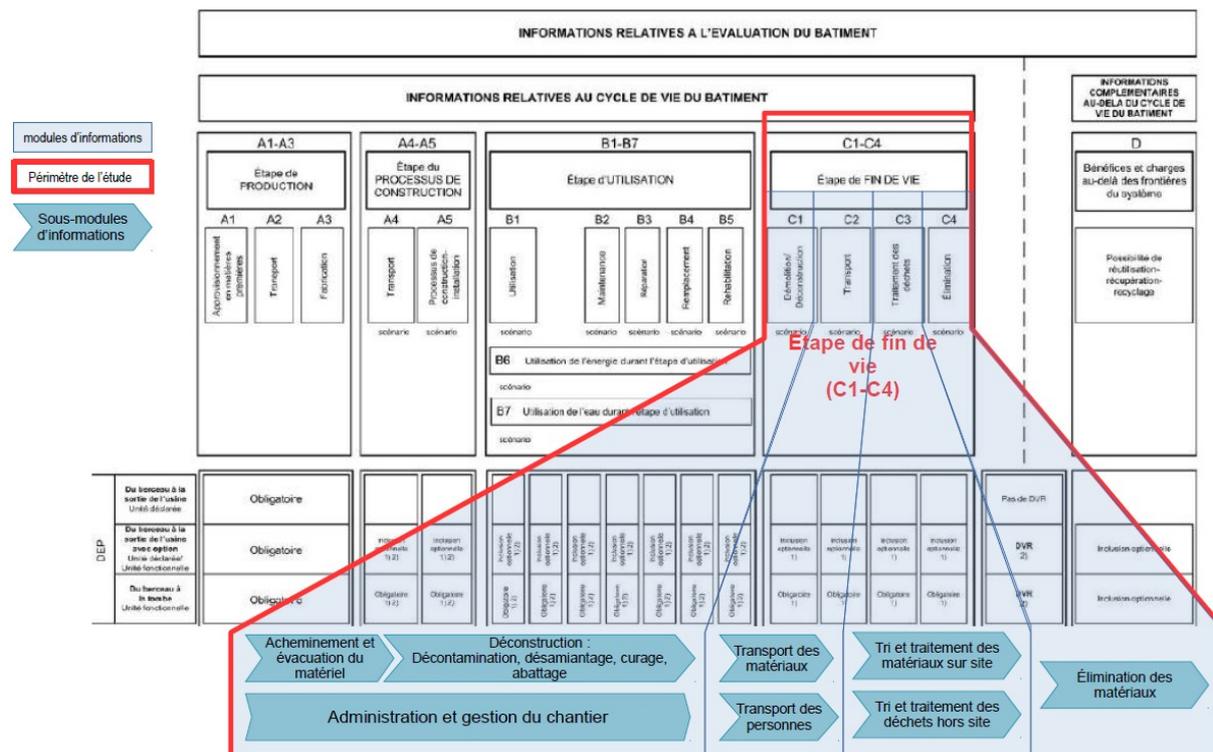
Ces deux chantiers sont des déconstructions de bâtiments de logements :

- 80 logements répartis sur 4 bâtiments HLM à St Brieuc
- 1 maison, 1 bâtiment annexe et 1 abri à vélo à Nice.

6.2 Principes généraux

6.2.1 Périmètre des études

Le périmètre des études porte sur l'étape de fin de vie (C1-C4) selon la norme NF EN 15804+A1.



Les flux pris en compte sont :

- La production et le transport des matériaux utilisés (remblais),
- La production et le transport des consommables,
- Le transport des fournitures à réutilisation limitée,
- Le transport et la consommation des engins,
- **Le transport des personnels,**
- Les matériaux issus de la démolition et leur transport,
- Le transport des installations de chantier,
- L'électricité consommée sur le chantier,
- La consommation d'eau.

Les flux non pris en compte sont les suivants :

- La production des fournitures à réutilisation limitée,
- La production des engins,
- Le département administratif.

Il y a ici une grande différence avec la norme NF EN 15804+A1, qui régit la réalisation des FDES, qui ne prend pas en compte le flux « transport des personnes ». L'ACV bâtiment réalisée dans le cadre de la RE 2020 ne prend pas non plus en compte le flux « transport des personnes ».

6.2.2 Objectifs des études

Evaluer les impacts environnementaux relatifs :

- Au désamiantage dans sa globalité (acheminement du matériel, désamiantage, traitement, évacuation et élimination des déchets amiantés).
- A la déconstruction des bâtiments hors désamiantage (curage, abattage, traitement, évacuation et élimination des matériaux ou déchets).

6.2.3 Unité déclarée

L'unité déclarée du chantier de St Brieuc est :

« 1m² (surface de plancher) de bâtiment désamianté et démoli ».

L'unité déclarée du chantier de Nice est :

« La déconstruction de bâtiments dont la surface de plancher (SDP) est de 300 m² et contenant de l'amiante »

6.2.4 Outils utilisés

Utilisation la base de données Ecoinvent 3.1 avec l'outil OpenLCA (V.1.4.2. et V.1.6)

6.2.5 Les règles d'affectation

Lorsqu'il est impossible d'affecter une activité à une phase précise du chantier, les affectations se font au prorata de la durée de la phase du chantier. Par exemple, l'utilisation d'une pelle hydraulique est affectée à 60 % à la phase d'abattage et 30 % à la phase d'évacuation.

6.3 Hypothèses et limitations

6.3.1 Hypothèses du chantier de Nice

- Estimation du volume d'eau utilisée : en l'absence de compteur d'eau sur le chantier, le volume d'eau utilisé est estimé à 500 litres uniquement durant la phase d'abattage du gros œuvre pour faire retomber les poussières au sol.
- Retour à vide : le calcul Ecoinvent majore les impacts environnementaux, car il est basé sur une charge moyenne des PL en Europe de 5.76 t (tous types de transports confondus), ce qui est inférieur au tonnage moyen des transports des déchets du chantier étudié et plus généralement du BTP qui peut être estimé au double. Pour cette raison, le retour à vide ne sera pas pris en compte dans cette étude.
- Utilisation du matériel : aucun matériel électrique n'a été utilisé durant toute la durée du chantier. La base de vie, bien qu'acheminée sur le chantier, n'a pas été raccordée au réseau d'eau et d'électricité, compte tenu de la proximité de l'hôtel et de la faible durée du chantier.
- Immobilisation du matériel : compte tenu de la durée très courte du chantier l'immobilisation du matériel et les impacts environnementaux associés ne sont pas pris en compte dans cette étude d'ACV.
- Poids et volume de matériaux et déchets : en l'absence de fourniture des bordereaux d'évacuation, le poids des matériaux est estimé par rapport au nombre de rotation des camions et de leur taux de remplissage.
- Flux « diesel, burned in building machine » : ce flux exprimé en MJ est calculé en multipliant le volume de carburant (en L) par la masse volumique du diesel (0,84 kg/L) puis par le Pouvoir Calorifique Inférieur (43 MJ/kg) afin de convertir les L en MJ.
- Traitement de fin de vie des matériaux : les trois entreprises de collecte des matériaux (VIC., SIT. Et ALG.) sont des sous-traitants de l'entreprise titulaire du marché. Il n'était donc pas possible de savoir comment les matériaux sont valorisés ou éliminés après le « déballage ». Dans cette étude, il est considéré que l'ensemble des matériaux est éliminé par enfouissement.
- Estimation des volumes de carburant : estimation à partir des données du fascicule « AFNOR, FD P 01-015, Qualité environnementale des produits de construction – Fascicule de données énergie et transport de février 2006 »
- Choix de la catégorie de moteurs diesel : Le parc automobile étant récent, l'option d'utiliser pour l'ensemble des véhicules la catégorie de moteur de type EURO 4, représentative de la moyenne du parc européen, a été prise.

6.3.2 Hypothèses du chantier de St Briec

- Consommables : il s'agit de fournitures diverses. Ces consommables ont été amenés sur chantier en fourgonnette, assimilée à un véhicule individuel de grande taille roulant au diesel (véhicule d'entreprise) puisque la masse des fournitures diverses ne peut être évaluée. Certains consommables n'ont pas été modélisés car, soit les informations n'étaient pas suffisamment précises, soit ils ont été considérés comme négligeables. Il s'agit des fournitures en bois, des lames de scie et du panneau de chantier. Aucune masse n'ayant été donnée, il n'a pas été possible d'évaluer la part massique écartée de la modélisation, notamment pour la comparer aux règles de coupure de la norme.
- Remblais : 3 types de remblais de granulométrie différente ont été utilisés sur ce chantier. Il n'existe pas de données Ecoinvent prenant en compte la granulométrie des remblais, aussi ils sont considérés comme des graviers concassés. Ils ont été transportés par semi-remorque assimilé à un camion de plus de 32T.
- Matériaux issus du désamiantage : les matériaux contaminés (hors enrobés) ont été transportés par semi-remorque sur 670 km afin d'être vitrifiés. Un bilan environne-

mental du procédé de vitrification a été réalisé par l'entreprise de vitrification. Ce bilan ne donnant pas l'ensemble des impacts et indicateurs de la norme NF EN 15804, il n'a pas été utilisé. Par ailleurs, aucune donnée Ecoinvent relative à la vitrification n'ayant été trouvée, il a été considéré un enfouissement des matériaux concernés.

- Fonte et fer à cisailier : faute de données plus précises, la fonte et les fers à cisailier ont été assimilés à des armatures.
- Consommation des engins : hypothèse d'une utilisation de 8h par jour sur chantier.
- Base vie : la modélisation a porté uniquement sur le transport, estimé par un camion avec plateau, assimilé à un camion 16-32T. Le poids d'un bungalow a été estimé, d'après Dron Location "Bungalows monobloc 6,00m * 2,50m", à 2,3T.

6.4 Résultats

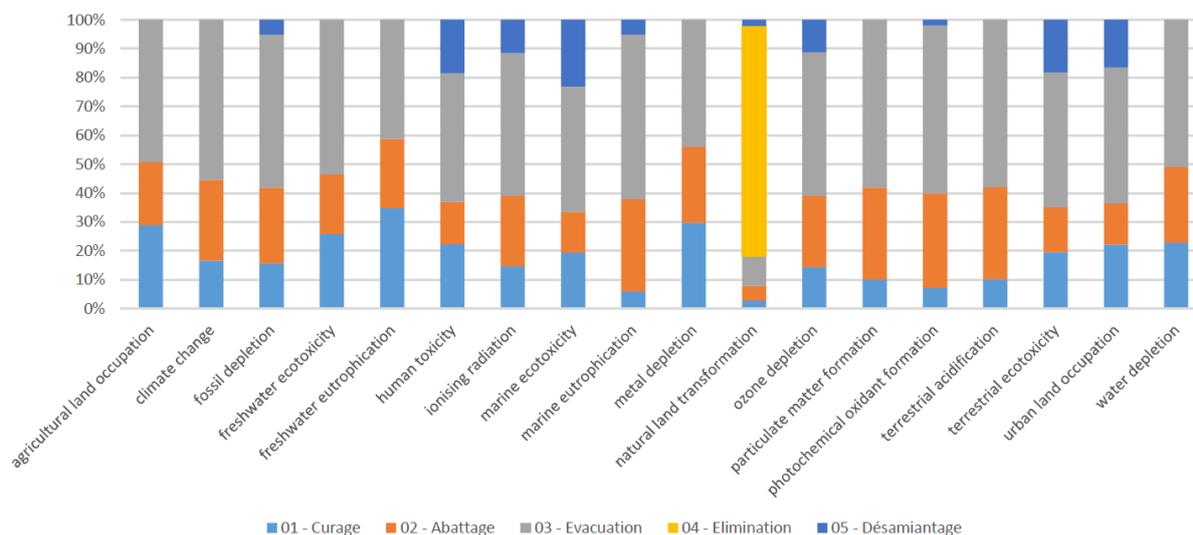
6.4.1 Chantier de Nice

Répartition des impact environnementaux selon les différents postes étudiés et la méthode ReCiPe.

Catégorie d'impact	Global chantier	Hors désamiantage	Désamiantage	Unité de référence	Impact du désamiantage
1 - ozone depletion	0,00132	0,00109	0,00023	kg CFC-11-Eq	17%
2 - human toxicity	1263,59202	1011,96853	251,62348	kg 1,4-DCB-Eq	20%
3 - climate change	7587,00862	7940,0195	-353,01087	kg CO2-Eq	4% (NS)
4 - terrestrial acidification	40,01684	40,08458	-0,06774	kg SO2-Eq	0% (NS)
5 - natural land transformation	19,50375	19,09178	0,41197	m2	2%
6 - fossil depletion	2375,02959	2177,43831	197,59128	kg oil-Eq	8%
7 - metal depletion	-527,62551	474,75153	-1002,37704	kg Fe-Eq	68% (NS)
agricultural land occupation	-1761,52233	-147,32998	-1614,19235	m2a	92% (NS)
urban land occupation	-112,85521	-159,81454	46,95933	m2a	23% (NS)
marine ecotoxicity	22,70906	17,01539	5,69366	kg 1,4-DCB-Eq	25%
freshwater ecotoxicity	1,2371	1,25494	-0,01784	kg 1,4-DCB-Eq	1% (NS)
freshwater eutrophication	0,10959	0,1401	-0,03051	kg P-Eq	18% (NS)
marine eutrophication	22,24024	20,74734	1,4929	kg N-Eq	7%
photochemical oxidant formation	65,14668	63,49442	1,65227	kg NMVOC	3%
ionising radiation	468,92654	386,7508	82,17574	kg U235-Eq	18%
particulate matter formation	18,54511	21,02312	-2,47801	kg PM10-Eq	11% (NS)
water depletion	-47,06329	-41,74449	-5,3188	m3	11% (NS)

NS : Valeur non significative

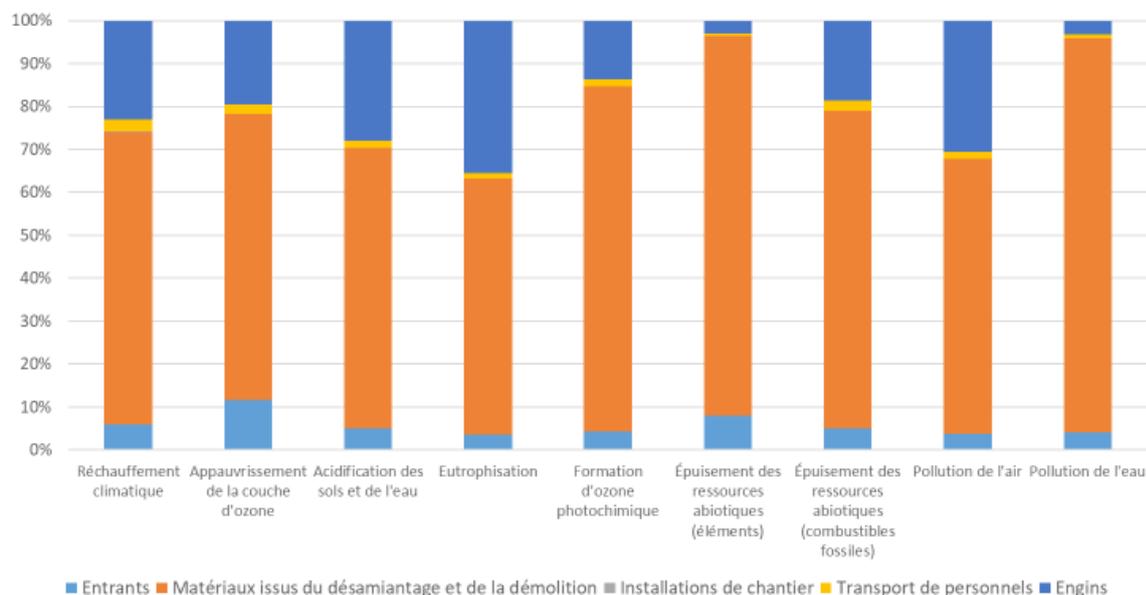
Certains flux sont négatifs, ils correspondent à la transformation de terres non-naturelles en terres naturelles.



Les flux négatifs ont dans ce graphe été mis à 0 pour mieux comparer les impacts environnementaux des valeurs positives.

6.4.2 Chantier de St Brieuc

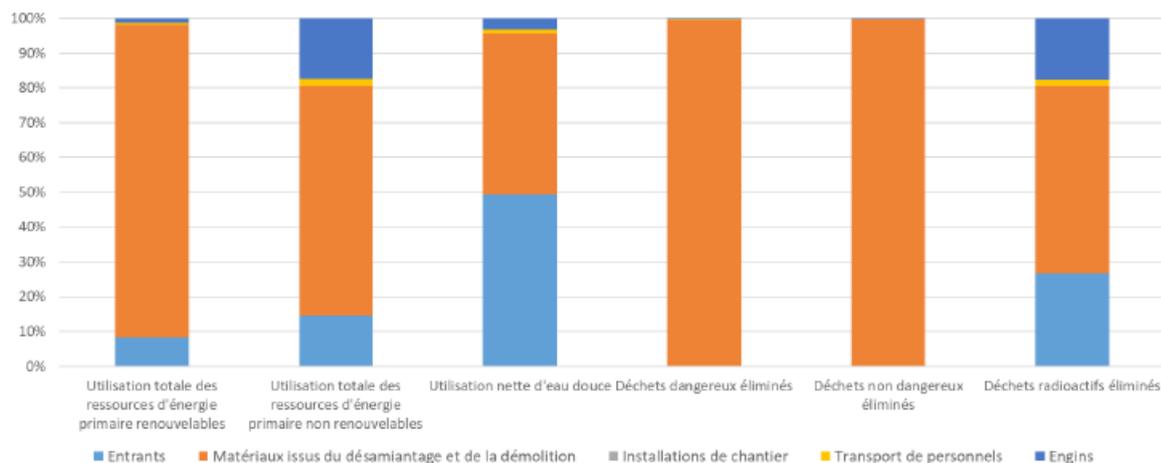
Répartition des impacts environnementaux selon les différents postes étudiés.



Contribution aux catégories d'impacts du chantier de démolition.

Indicateurs d'impact	Unité	1m ² démolit
Réchauffement climatique	kg CO ₂ équivalent	27,07
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg CFC-11 équivalent	5,74.10 ⁻⁶
Acidification des sols et de l'eau	kg SO ₂ équivalent	0,17
Eutrophisation	kg PO ₄ ³⁻ équivalent	0,03
Formation d'ozone photochimique	kg éthène équivalent	9,06.10 ⁻³
Épuisement des ressources abiotiques (éléments)	kg Sb équivalent	5,02.10 ⁻⁹
Épuisement des ressources abiotiques (combustibles fossiles)	MJ, pouvoir calorifique inférieur	476,06
Pollution de l'air	m ³	138,27
Pollution de l'eau	m ³	1,08.10 ⁵

Répartition des indicateurs selon les différents postes étudiés.



Contribution aux flux indiqués de la norme NF EN 15804+A1 du chantier de démolition.

Indicateurs de flux sortants	Unité	1m ² démoli
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières	MJ	41,7
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées en tant que matières premières	MJ	0
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	MJ	41,7
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières	MJ	549,47
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées en tant que matières premières	MJ	0
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	MJ	549,47
Utilisation de matière secondaire	kg	0
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	MJ	0
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	MJ	0
Utilisation nette d'eau douce	m ³	7,64.10 ⁻²
Déchets dangereux éliminés	kg	32,04
Déchets non dangereux éliminés	kg	1268,16
Déchets radioactifs éliminés	kg	3,57.10 ⁻³
Composants destinés à la réutilisation	kg	0
Matériaux destinés au recyclage	kg	806,44
Matériaux destinés à la récupération d'énergie	kg	0
Énergie fournie à l'extérieur	MJ	0

6.5 Interprétation des résultats

Voici les enseignements retirés de chacune des études.

6.5.1 Chantier de Nice

Pour minimiser les impacts environnementaux d'un chantier de déconstruction il faut agir sur les trois critères présentés dans le tableau suivant :

Critères	Thèmes	Actions
Réduire les déplacements	Transport des personnes	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher une entreprise locale avec personnel de chantier local pour réduire les distances ; - Favoriser le covoiturage ; - Utiliser des véhicules électriques à faible impact carbone ; - Favoriser l'utilisation des transports en commun ; - Utiliser un parc automobile récents à faible émission de CO2.
	Acheminement et évacuation	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher une entreprise locale pour réduire les distances ;

	cuation du matériel	<ul style="list-style-type: none"> - Mutualiser l'acheminement du matériel ; - Former les conducteurs de camion à une conduite économe ; - Utiliser un parc de camions récents à faible émission de CO2.
	Évacuation des matériaux ou déchets	<ul style="list-style-type: none"> - Réduire les volumes transportés ; - Favoriser les centres de traitement situés à proximité ; - Remplir au maximum de leur capacité les camions ; - Favoriser les camions à grande capacité ; - Favoriser la prévention (valorisation sur site) ; - Utiliser un parc de camions récents à faible émission de CO2.
	Minimiser l'utilisation du matériel	<ul style="list-style-type: none"> - Éviter l'utilisation d'engins de chantier de grande puissance ; - Favoriser la déconstruction manuelle ; - Acheminer uniquement le matériel qui sera utilisé sur le chantier ;
	Réduire le volume de matériaux	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher des associations pour récupérer les matériaux ; - Réaliser une étude juridique sur les responsabilités en cas de réutilisation des matériaux ; - Rechercher la « valorisation matière » par ordre de priorité : la prévention, la réutilisation, le réemploi ou le recyclage avant d'envisager une valorisation énergétique ou biologique (compostage) ou une élimination.

6.5.2 Chantier de St Briec

Les résultats mettent en avant l'influence majoritaire des matériaux issus du désamiantage et de la démolition et des engins. Des pistes d'amélioration sur ces deux postes ont été recherchées avec un objectif double : diminuer les impacts environnementaux et fiabiliser les valeurs. Il apparaît concernant les matériaux issus du désamiantage et de la démolition, qu'une diminution des impacts doit passer par une amélioration de leurs traitements. Ceci n'est donc pas du ressort du maître d'ouvrage mais plutôt des pouvoirs publics donc sans amélioration possible pour un chantier dans un avenir proche. Toutefois, il a été montré qu'un tri plus poussé peut rapidement amener à une diminution de quelques pourcents des impacts. S'agissant des engins, il est nécessaire de fiabiliser les données en faisant des relevés plus précis de leur utilisation. En effet, l'étude de sensibilité menée à montrer qu'un passage de 8h/jour d'utilisation à 6h, amenait une différence pouvant aller jusqu'à 16% pour l'impact eutrophisation. Il conviendra de multiplier les suivis de chantier pour évaluer si ces conclusions peuvent être étendues et afin d'obtenir des valeurs fiables d'impacts environnementaux pour 1m² de bâtiment désamianté et démolit. Il sera également intéressant de comparer un chantier sans désamiantage avec celui-ci.

6.6 Conclusion

Il est compliqué de comparer les résultats de ces deux chantiers, car le découpage des postes n'est pas le même. Néanmoins, en comparant l'indicateur changement climatique, les résultats des 2 chantiers sont assez proches puisque l'impact de Nice est de 25.29 kgeq-CO₂/m² contre 27.07kgeqCo₂/m² pour le chantier de St Briec.

Afin d'abonder nos connaissances sur l'évaluation environnementale de la démolition/déconstruction, il serait nécessaire de compléter ces deux études par un échantillonnage plus large de bâtiments (avec des typologies différentes) déconstruits.

Il serait également nécessaire de consolider la méthodologie appliquée, notamment : faut-il prendre en compte l'impact des déplacements des personnes ?

7. GRILLE DE LECTURE DES APPROCHES « BAS CARBONE » DANS LA RÉNOVATION DANS DIFFÉRENTS RÉFÉRENTIELS

7.1 Les rénovations « bas carbone » dans les approches locales

Exemple du référentiel de Qualité Environnementale des Bâtiments départementaux dans les Yvelines

Certaines collectivités ont développé leur propre référentiel de qualité environnementale pour imposer des critères pour leurs projets de rénovation. Ces référentiels peuvent alors avoir des approches bas carbone. C'est par exemple le cas du département des Yvelines qui a rédigé un référentiel pour la rénovation de ses bâtiments en 2020. Celui-ci aborde 4 thématiques (insertion dans le site, bioclimatique-confort et santé, performance énergétique bas carbone et gestion des ressources) et précise pour chacune les justificatifs à produire pour assurer la prise en compte du sujet dans le projet.

Concernant le bas carbone, des éléments sont présents dans la thématique 4. L'approche consiste d'une part à promouvoir l'utilisation de matériaux biosourcés et de réemploi, le concepteur devant comptabiliser les quantités envisagées selon l'arrêté du 19/12/2012, étudier les filières locales de réemploi et justifier d'une réflexion sur l'économie circulaire (réalisation aussi d'un diagnostic ressources sur le potentiel de réemploi dans le cas d'une déconstruction). D'autre part, il y a une exigence de réalisation d'une ACV selon l'addendum au référentiel E+C- et le guide pratique ACV rénovation de l'Alliance HQE de janvier 2019.

Les attentes sur la performance environnementale concernent en complément la limitation de la consommation d'eau potable, la récupération des eaux de pluie et leur réutilisation et la gestion des déchets d'activités.

Concernant l'ACV, c'est donc la méthode E+C- qui est retenue. Le référentiel introduit des valeurs seuils par lots, à prendre de façon forfaitaire comme référence. Ce sont celles issues du label BBKA, comme par exemple pour les travaux d'aménagement et les lots du second œuvre.

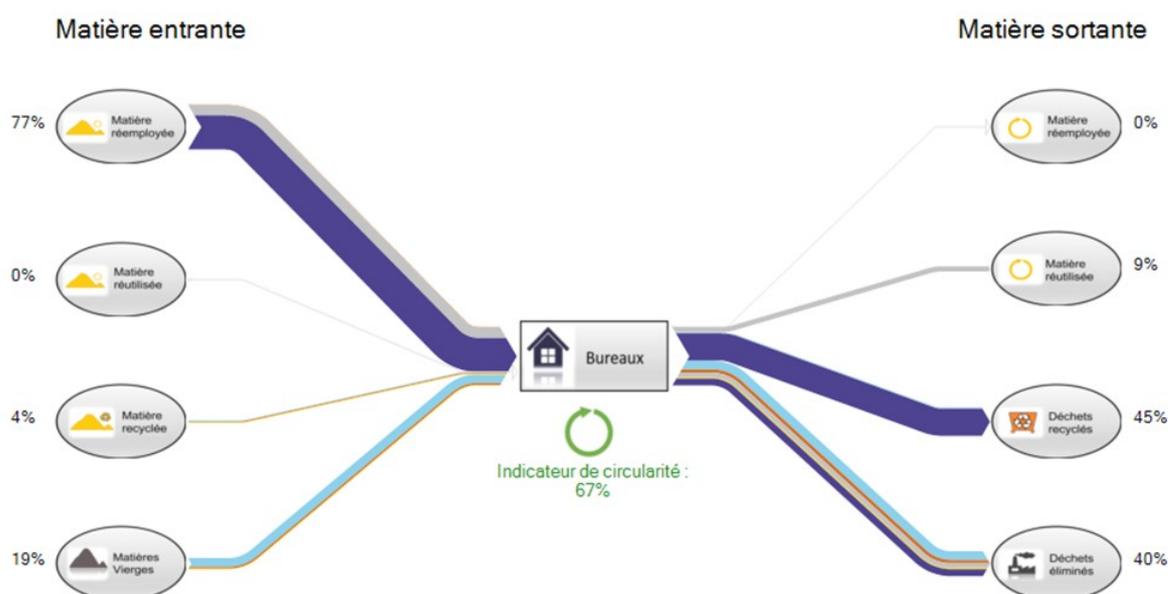
Par exemple, pour les lots du second œuvre (à savoir les lots 05 et 07, ainsi nommés dans la méthodologie ACV du référentiel E+C-), les valeurs seuils sont :

- Pour le lot 07 (revêtements des sols, murs et plafonds, chapes, peintures, produits de décoration) : 107 kg_{éq.}CO₂/m²SDP,
- Pour le lot 05 (cloisonnements, doublages, plafonds suspendus et menuiseries intérieures) : 67 kg_{éq.}CO₂/m²SDP.

7.2 L'approche « bas carbone » de la méthode MFA – Synthèse

Le MFA (« Material Flow Analysis » = « Analyse de Flux de Matière ») est une évaluation systématique des flux de matière au sein d'un système défini dans le temps et dans l'espace. La méthode est quantitative et s'appuie sur les indicateurs présents dans les FDES et PEP. Elle a été élaborée par le bureau d'études EVEA, en partenariat avec Cerqual, INIES et l'alliance HQE-GBC. Les résultats d'une MFA sont obtenus par un bilan matière massique comparant les intrants et les extrants d'un process. Le résultat est un schéma qui représente ces différents flux où l'épaisseur des traits est proportionnelle à la part massique de chaque flux (en t/m² ou en %). Cela permet une visualisation efficace des flux et du poids que représentent les produits circulaires (issus du réemploi, réutilisation...), en comparaison aux matières vierges ou éliminées.

Ainsi, il est possible de quantifier la proportion des différents flux qui participent à réduire le carbone d'un projet de rénovation. Il s'agira des entrants : matière réemployée, matière réutilisée, matière recyclée ; et des sortants : matière réemployée, matière réutilisée, déchets re-



cyclés

- Cloisons
- Luminaires
- Revêtements de sol
- Faux plafonds
- Faux planchers
- Mobilier
- Luminaires - renouvellement
- Revêtements de sol - renouvellement
- Faux planchers - renouvellement
- Mobilier - renouvellement

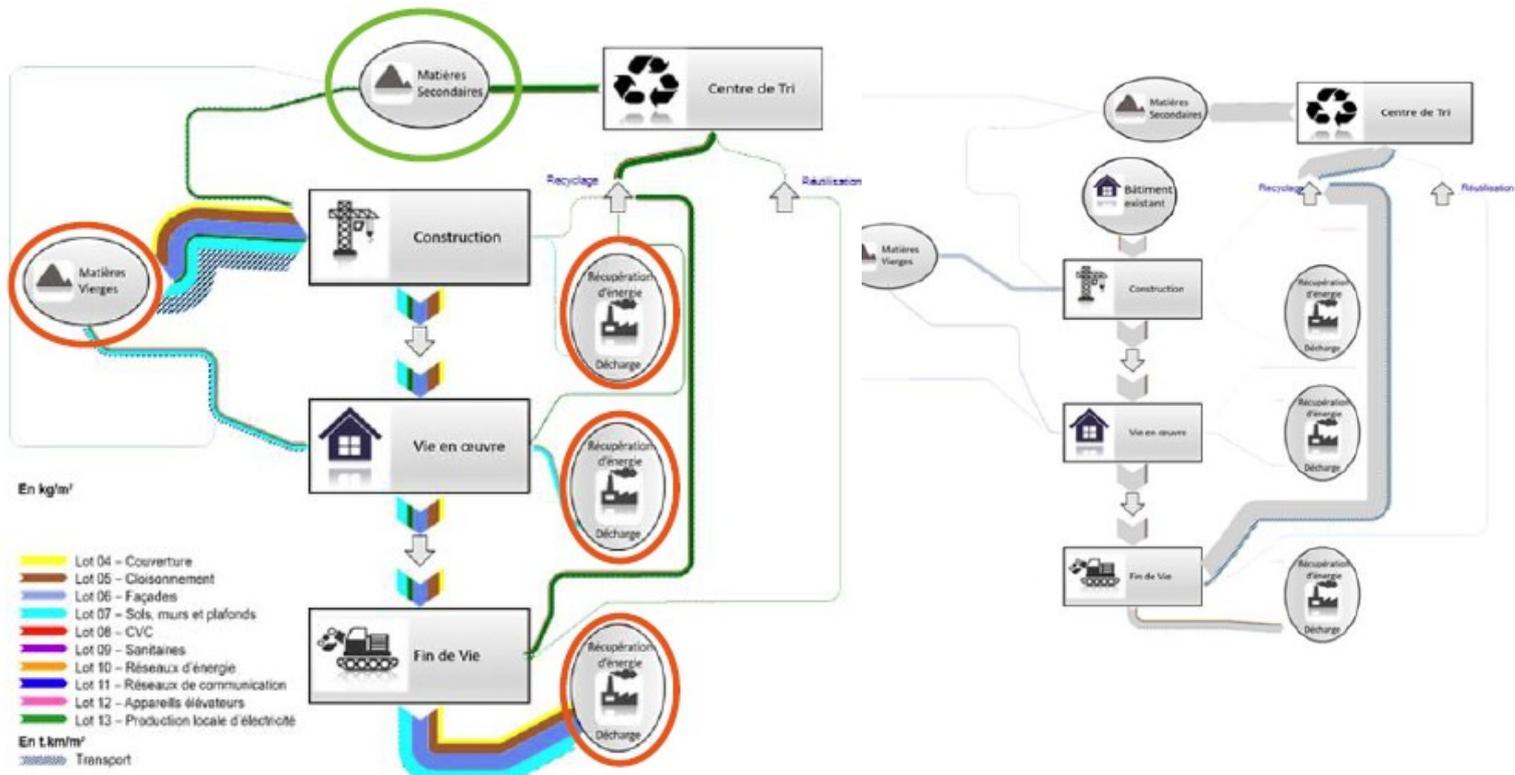
Exemple issu d'une évaluation d'un projet dans le cadre de l'étude Bureaux de demain, Cerema-Ifepeb, été 2022

Les faux planchers constituent pour ce projet un flux important en réemploi : ils participent aux 77 % de flux issus du réemploi en majorité. Ils pourront être recyclés à hauteur de 45 %, le reste étant incinéré.

L'approche MFA est intéressante pour distinguer les flux en économie circulaire. Elle complète une approche ACV au niveau bâtiment ou produit qui ne permet pas d'adresser suffisamment finement les enjeux de l'économie circulaire puisque les résultats d'impact de l'ACV sont agrégés : ils rassemblent plusieurs systèmes et plusieurs étapes de cycle de vie.

Cette approche a également été mise en œuvre par l'Alliance HQE dans son test de Performance en économie circulaire sur les projets neufs et rénovés.

Illustration avec la comparaison d'un projet de construction neuve et d'un projet de réhabilitation où la conservation de l'existant a été maximisée, Alliance HQE intervention de décembre 2020 :



Dans le projet de construction, à gauche, les flux importants entrants sont de la matière vierge. On les retrouve aux différents moments du cycle de vie du bâtiment. En fin de vie, sur cet exemple, les déchets sont majoritairement incinérés.

A l'inverse dans le projet de réhabilitation avec du réemploi, à droite, il y a très peu de flux entrants et le flux de matière vierge est très restreint. Beaucoup de déchets sont triés en fin de vie.

Bilan :

L'approche MFA aborde les intrants et les sortants en travaillant sur les flux de matière et leur origine ou destination. La quantification se fait en poids ou en approche relative. Bien qu'elle traite des différents lots et distingue ceux avec des origines carbonées d'autres qui le sont moins, les résultats n'apparaissent pas en impact carbone.

Un bilan carbone ou un calcul de gain carbone pour quantifier l'approche bas carbone peut être fait mais dans un second temps uniquement et via des calculs supplémentaires (poids

carbone de l'élément issu de l'économie circulaire x quantité affichée dans le rendu MFA par exemple).

7.3 L'approche « bas carbone » du label HQE Rénovation - certification NF HQE

La marque HQE, pour Haute Qualité Environnementale, a élaboré depuis plusieurs années des référentiels de certification NF sur la qualité environnementale pour les différentes typologies de bâtiments existants afin de faire reconnaître la qualité particulière de certains projets de réhabilitation et de permettre aux maîtrises d'ouvrage de les mettre en valeur.

Ces référentiels viennent spécifier les règles générales de la marque avec des critères techniques à respecter pour obtenir un certain nombre d'étoiles sur chaque thème. Ils associent ensuite ce score à un niveau global avec une échelle à 5 niveaux qui est la distinction que le projet pourra afficher : HQE Bon, Très bon, Excellent ou Exceptionnel.

L'obtention de la performance environnementale d'un ouvrage relevant autant du management du projet que de questions architecturales et techniques, les référentiels sont structurés en deux volets : un référentiel du système de Management de l'opération pour évaluer la qualité environnementale visée et l'organisation mise en place pour l'atteindre et un référentiel de la Qualité Environnementale du Bâtiment pour évaluer la performance architecturale et technique de l'ouvrage, lui-même structurée en 4 familles qui abordent 14 cibles ou sujets. Le nombre d'étoiles obtenu dans chaque cible dépend des prestations mises en place, elles-mêmes évaluées en 3 niveaux : Base, Performant, Très performant.

Energie :

Cible 4 : Gestion de l'énergie

Environnement :

Cible 1 : Relation du bâtiment avec son environnement immédiat

Cible 2 : Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction

Cible 3 : Chantier à faible impact environnemental

Cible 5 : Gestion de l'eau

Cible 6 : Gestion des déchets d'activités

Cible 7 : Maintenance – Pérennité des performances environnementales

Confort :

Cible 8 : Confort hygrothermique

Cible 9 : Confort acoustique

Cible 10 : Confort visuel

Cible 11 : Confort olfactif

Santé :

Cible 12 : Qualité sanitaire des espaces

Cible 13 : Qualité sanitaire de l'air

Cible 14 : Qualité sanitaire de l'eau

L'évaluation se fait via un prestataire extérieur au projet et selon une démarche cadrée avec des vérifications sur la base des documents envoyés par l'équipe-projet (descriptifs des dispositions retenues, justificatifs des quantitatifs, notes de calculs, relevés de mesures...) mais aussi des visites sur site. Elle doit être effectuée par les acteurs de l'opération, sous la responsabilité du maître d'ouvrage, qui transmettent les éléments nécessaires à l'évaluateur et doit être basée sur le contenu des référentiels. Son coût est fonction du type et de la taille du bâtiment.

En 2016, la marque a élaboré une nouvelle certification avec une déclinaison pour le résidentiel mais aussi pour le tertiaire, commerces et services : HQE Bâtiment Durable. Il s'agit d'une évolution du NF HQE, avec un référentiel pour le neuf et un autre pour la rénovation, qui reprend ses exigences en les articulant autour de 3 engagements de performance (respect de l'environnement, qualité de vie, performance économique des bâtiments), évalués comme précédemment en étoiles, pour un niveau de performant à exceptionnel, et en ajoutait un 4ème pour aller plus loin dans la gestion de projet : le management responsable (Système de Management Responsable) avec des attentes autour de la gestion de projet, maîtrise des risques et évaluation des objectifs attendus. Cet engagement est qualifié en niveau de maturité, de opérationnel à exemplaire.

A la place des 14 cibles et des 3 niveaux, on trouve 12 objectifs et 28 thèmes. Les étoiles permettent d'obtenir une évaluation allant de classe A (performance supérieure) à F (niveau non certifiable) :



Cadre de référence du bâtiment durable (asso. HQE)		Thèmes des référentiels Certhvéa HQE Bâtiment Durable 2016				
Engagements	Objectifs					
QUALITE DE VIE	Des lieux de vie plus sûrs et qui favorisent la santé	Sécurité et sûreté	Qualité de l'air intérieur	Protection des biens et des personnes		
		Qualité de l'eau	Ondes électromagnétiques	Résilience		
	Des espaces agréables à vivre, pratiques et confortables	Facilité d'accès	Facilité d'usage	Adaptabilité		
		Confort hygrothermique	Confort acoustique	Confort visuel		
Des services qui facilitent le bien-vivre ensemble	Transports	Services				
RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT	Une utilisation raisonnée des énergies et des ressources naturelles	Energie	Eau	Ressources matérielles (hors énergie)	Soils	
	Une limitation des pollutions et la lutte contre le changement climatique	Déchets	Changement climatique	Impacts environnementaux sur le cycle de vie	Pollutions (air, eau, soils)	
	Une prise en compte de la nature et de la biodiversité	Biodiversité				
PERFORMANCE ECONOMIQUE	Une optimisation des charges et des coûts	Charges et coûts				
	Une amélioration de la valeur patrimoniale, financière et d'usage	(à définir)				
	Une contribution au dynamisme et au développement des territoires	Contribution au dynamisme et au dév't des territoires				
MANAGEMENT RESPONSABLE	Une organisation adaptée aux objectifs de qualité, de performance et de dialogue	Contexte	Engagement	Planification	Ressources et moyens	
	Un pilotage pour un projet maîtrisé	Réalisation des activités opérationnelles : Chantier	Réalisation des activités opé.: Commissionnement			
	Une évaluation garante de l'amélioration continue	Evaluation	Amélioration			

Alors qu'il était envisagé que cette nouvelle certification remplace complètement l'ancienne, la démarche avec les cibles étant plus connue des acteurs, plus facile à appréhender et à respecter, moins coûteuse et avec un panel de projets distingués relativement important, elle a continué à faire l'objet d'instruction par les certificateurs. Les deux certifications existaient donc en parallèle avec des référentiels et méthodes d'évaluation différents et ceci jusqu'à l'été 2022.

En effet, début 2022, HQE a travaillé sur une évolution de ses deux certifications et a publié en juin deux nouveaux paquets de référentiels avec les différentes déclinaisons pour styles de projets (Construction, Rénovation, Exploitation). Depuis juin 2022, il existe donc deux nouvelles démarches de certification HQE parallèles qui s'appliquent aux différentes typologies de bâtiment et qui devraient remplacer progressivement les précédentes :

- Les certifications HQE Bâtiment version 1 : elles s'articulent autour de deux engagements et du Système de Management Responsable avec 8 objectifs
- Les certifications HQE Bâtiment Durable version 4 (HQE BD) : elles s'articulent autour de deux engagements et du Système de Management Responsable avec 8 objectifs
- Chaque objectif est ensuite décliné en thèmes puis items pour l'évaluer. On retrouve beaucoup de similitudes avec le certificat HQE Bâtiment Durable de 2016.

Détail de la structuration et comparaison générale :

Engagement Qualité de vie

Objectif 1 : Des lieux plus sûrs qui favorisent la santé

→ présent pour HQE Bâtiment et HQE BD

Thèmes :

- Qualité de l'air intérieur
Performance en qualité de l'air intérieur dans les blocs homogènes
Ventilation
- Qualité de l'eau
Conception des réseaux de distribution intérieurs
Maîtrise de la température dans les réseaux
Maîtrise des traitements d'entretien et de décontamination des réseaux intérieurs
Qualité des eaux des espaces de baignade
- Ondes électromagnétiques
Identification des sources
Evaluation des champs électromagnétiques
Dispositions prises

Objectif 2 : Des espaces agréables à vivre, pratiques et confortables

→ présent pour HQE Bâtiment et HQE BD

Thèmes :

- Confort hygrothermique
Performance en confort hygrothermique dans les blocs homogènes
- Confort acoustique
Performance en confort acoustique dans les blocs homogènes
- Confort visuel
Performance en confort visuel dans les blocs homogènes
- **Accessibilité -> présent uniquement pour HQE BD**
 - Exigences générales**
 - Facilité d'accès**
 - Facilité d'usage**
 - Sécurité**

Objectif 3 : Des services qui facilitent le bien-vivre ensemble

→ présent pour HQE Bâtiment et HQE BD

Thèmes :

- Transport
Dispositifs présents sur site
Offre de transports à proximité
- **Services -> présent uniquement pour HQE BD**
 - Performance sur le thème Services**

Engagement Respect de l'environnement

Objectif 4 : Une utilisation raisonnée des énergies et des ressources naturelles

→ présent pour HQE Bâtiment et HQE BD

Thèmes :

- Energie
Consommation énergétique pendant l'utilisation du bâtiment
Exigences additionnelles liées à l'efficacité énergétique des activités particulières
- Eau
Consommation d'eau potable
Gestion des eaux pluviales et des eaux usées à la parcelle

Objectif 5 : La limitation des pollutions et la lutte contre le changement climatique

→ présent pour HQE Bâtiment et HQE BD

Thèmes :

- Déchets
Conception du bâtiment et déchets d'activité
Déchets de chantier
- Carbone
Emissions de CO2
- Adaptation au changement climatique
Adaptation au changement climatique
- Analyse en cycle de vie -> présent uniquement pour HQE BD
Analyse en cycle de vie

Objectif 6 : Une prise en compte de la nature et de la biodiversité

→ présent uniquement pour HQE BD

Thèmes :

- Biodiversité
Biodiversité

Engagement Performance économique

Objectif 7 : Optimisation des charges et coûts

→ présent uniquement pour HQE BD

Thèmes :

- Maîtrise des coûts
Maîtrise des charges de fonctionnement
Maîtrise des charges d'exploitation
Maîtrise des coûts de gros remplacements
Approche en coût global

Objectif 8 : Amélioration de la valeur patrimoniale, financière et d'usage

→ pas encore traité sur les versions en vigueur

Objectif 9 : Contribution au dynamisme et au développement de territoires

→ présent uniquement pour HQE BD

Thèmes :

- Economie locale
Contribution à l'attractivité des territoires

Economie circulaire, réemploi et choix de filières locales

SMR : Pilotage maîtrisé

Objectif 11 : Pilotage pour un projet maîtrisé

→ présent pour HQE Bâtiment et HQE BD

Thèmes :

- Réalisation des activités opérationnelles : adaptabilité
Définition, classification et organisation des espaces
Dispositions facilitant les adaptations dans un même volume bâti
Dispositions facilitant les extensions vers un volume bâti plus important
Dispositions facilitant l'interopérabilité et l'adaptabilité numérique
- Réalisation des activités opérationnelles : chantier
Organisation du chantier
Gestion des déchets de chantier
Limitation des nuisances et des pollutions
Suivi et maîtrise des consommations d'énergie et d'eau
Bilan multi-thématique du chantier
- Réalisation des activités opérationnelles : commissionnement -> présent uniquement pour HQE BD
Organisation du commissionnement
Mission de commissionnement

Objectif 10 : Organisation adaptée aux objectifs de qualité, de performance et de dialogue

→ présent pour HQE Bâtiment et HQE BD

Thèmes :

- Contexte
Périmètres
Contexte et enjeux
Besoins et attentes des parties intéressées
- Engagement
Objectifs de performance visés
Engagement de la direction
Rôles, responsabilités et autorités
- Planification
Gestion des risques
Planification des actions

- Ressources et moyens
Compétences
Passation et suivi des contrats – politique d’achats
Communication et implication des parties intéressées
Informations documentées

Objectif 12 : Evaluation garante de l’amélioration continue

→ présent pour HQE Bâtiment et HQE BD

Thèmes :

- Evaluation
Evaluation
- Amélioration
Ecart et actions correctives
Bilan et capitalisation

Les démarches d’évaluation déjà engagées sur les projets avec les anciens référentiels vont continuer à être instruites selon les documents de référence de chaque cas.

L’objet de cette note étant d’éclairer sur le fonctionnement de la certification vis-à-vis de l’impact carbone des projets de réhabilitation pour distinguer les réhabilitations « bas carbone », elle se concentrera sur les cibles et thèmes qui valorisent des projets peu carbonés et la manière dont cela est abordé et elle n’abordera pour ce faire qu’une seule typologie de bâtiment : le tertiaire a été retenu.

De plus, afin de comparer les éléments valorisés sur ce thème, elle s’attachera à comparer l’évaluation selon un ancien référentiel avec celle décrite dans les nouveaux en vigueur.

Ainsi, elle s’appuie sur :

- Le référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments en rénovation NF HQE Rénovation – bâtiments tertiaires qui couvre les projets de réhabilitation pour les entités programmatiques suivantes : bureau, enseignement, commerce, hôtellerie et logistique. La première mise en application date de juillet 2010 mais elle a fait l’objet d’une révision qui a conduit à la version 2015 en vigueur.
- Le référentiel HQE Bâtiment version I – Rénovation, version du 07/06/22
- Le référentiel HQE Bâtiment Durable version 4 – Rénovation, version du 07/06/22

Chaque référentiel fait l’objet d’une norme identifiée par l’AFNOR.

Le « bas carbone » dans le référentiel NF HQE Rénovation

Parmi les 14 cibles, celles qui pourraient être en lien avec l’impact carbone d’une rénovation sont les cibles 1, 2, 3, 4 pour l’impact carbone de l’énergie, 6 et 7.

Cette note revient sur les sous-thèmes abordés par chaque cible et les justifications à fournir pour conclure sur la façon dont l’impact carbone est abordé.

Cible n°1 : Relation du bâtiment avec son environnement immédiat

→ réflexion sur les accès et les places de parking. Des intentions sont à afficher sur la limitation du nombre de places de parking pour favoriser les modes de déplacement les moins polluants, réfléchir à des approches mutualisées, favoriser les places de parking pour voiture propre et vélos, la proximité aux transports en commun. Pas d'indicateur calculatoire sur le carbone indiqué, il faut justifier d'une réflexion sur ces sujets.

→ objectif de végétalisation de la parcelle en m² et de préservation de la biodiversité

→ insertion de dispositif de gestion des eaux pluviales/usées

→ réflexion sur l'ambiance extérieure avec stratégie de confort (écran, protection, ombrage, matériaux à faible FS, stratégie d'intégration paysagère, impact du potentiel allergisant, signalétique, impact sur le voisinage...)

Conclusion : ces sous-thèmes auront une influence sur le bilan carbone de la réhabilitation mais il n'est pas attendu d'évaluation quantitative de scénarios comparatifs ou de la solution retenue. Le « bas carbone » n'est pas présenté comme l'objectif des choix, c'est plutôt une logique plus générale de développement durable qui doit être adoptée.

Pas de stratégie sur du comptage carbone.

Cible n°2 : Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction

→ réflexion sur l'adaptabilité des solutions techniques.

Périmètre temporel : Court terme = 10 ans, moyen ou long terme après

C'est à la MOA de déterminer les 3 durées de vie nécessaire à l'évaluation :

*La durée de vie prévisionnelle de l'ouvrage : durée de vie totale pour laquelle le Maître d'Ouvrage prévoit de construire.

*La durée de vie « courte » de l'ouvrage. Cette durée de vie « courte » représente l'intervalle de durée de vie permettant une réflexion sur l'adaptation des locaux en fonction des usages et des besoins fonctionnels. Elle peut se répéter sur la durée de vie prévisionnelle.

*La durée de vie de chacun des produits, systèmes et procédés de son ouvrage (gros œuvre, second œuvre, équipements, etc.), distinction gros œuvre et second œuvre.

→ réflexion sur l'évolutivité du bâtiment à mener sur les différentes échelles temporelles. La MOA décrira la stratégie qu'elle adopte, y compris pour du réemploi, un choix de produit particulier car démontable, et les produits certifiés ou évalués

→ réflexion sur l'accessibilité des produits pour la maintenance

→ choix de produit à faible entretien à justifier : des produits à entretien peu fréquent et avec peu d'impact. Justification via une évaluation d'un tiers extérieur ou la mise en place d'une charte

→ réflexion sur des PCE à faible impact environnemental. Justification via un calcul d'ACV et les indicateurs classiques. Des objectifs chiffrés sur le recueil des données pour X % des éléments de différents lots, % relatifs à l'unité fonctionnelle. Il s'agit donc d'une obligation de maîtrise du contenu du projet (connaissance des matériaux), plus que de seuil carbone à ne pas dépasser. L'ACV se fait ensuite sur la durée de vie totale du bâtiment estimée par la MOA et via les logiciels classiques. Pas de règle partagée, pas d'objectif de valeur

→ réflexion sur l'impact sanitaire des produits. L'enjeu est la connaissance de l'impact sanitaire des produits utilisés et l'utilisation de cette information pour justifier le choix de quelques produits, y compris du bois

Conclusion : l'enjeu est sur la connaissance et la disponibilité des FDES/PEP/DED des produits insérés dans le projet de rénovation. ACV à réaliser mais pas de valeur à respecter.

Les durées de vie sont à renseigner par la MOA.

Les produits qui peuvent être concernés sont listés par lot.

Cible n°3 : Chantier à faible impact environnemental

- stratégie d'identification, de tri et d'enlèvement des déchets. Evaluation de la masse de déchet
- mise en place d'une traçabilité des déchets et respect d'un taux minimum de valorisation
- stratégie de réduction des déchets pour un nombre mini de déchet
- stratégie de limitation des nuisances acoustiques, visuelles, du trafic, de la poussière pour le voisinage
- limitation de la pollution des sols via identification des produits polluants, dispositifs de protection/récupération, choix de produits certifiés
- utilisation de technique qui limite la pollution de l'air (appareil manuel, anti-poussière...)
- limitation de la consommation de ressources via comptage des consommations et stratégies de réduction

Conclusion : ces sous-thèmes auront une influence sur le bilan carbone de la réhabilitation mais il n'est pas attendu d'évaluation quantitative de scénarios comparatifs ou de la solution retenue. Le « bas carbone » n'est pas présenté comme l'objectif des choix, l'enjeu est la définition de stratégie, la mise en place d'un suivi et la justification des choix de produits et équipements aux regards de leurs caractéristiques dont les certifications. Pas de calcul en ACV. **Pas d'indicateur carbone avec une valeur cible.**

Cible n°4 : Gestion de l'énergie

- respect de la réglementation thermique sur l'existant, R_{tex} globale, seuil Ubat réf pour tout le bâtiment (rénové et non renové), seuil Cep (pour la SHON renovée)
- stratégie de rénovation passive via la rédaction d'une note
- stratégie sur la perméabilité à l'air et mesure avec valeur cible, engagement de résultat
- stratégie sur l'optimisation du zonage thermique via la rédaction d'une note
- stratégie sur la réduction de la consommation de l'éclairage artificiel non compris dans le calcul réglementaire, note ou seuil W/m^2 à ne pas dépasser
- stratégie pour limiter les consommations des équipements électromécaniques
- Limitation des consommations de climatisation avec des seuils à ne pas dépasser
- détermination de la classe de la GTB en fonction du détail de la norme pour évaluer son niveau éco-énergétique
- réalisation d'une étude de faisabilité sur les Enr et justification de l'énergie retenue. Expression du pourcentage de couverture par poste énergétique et atteinte de certains seuils. La performance se caractérise donc par une couverture énergétique par les Enr pour les postes réglementaires ou par le choix d'équipements performants.
- réflexion sur le poids Carbone des postes réglementaires via un calcul du poids carbone du bilan énergétique et un calcul de différents scénarios pour justifier celui retenu. Pas de seuil max. Calcul sur l'année à partir des énergies et des $kWh/m^2.an$
- réflexion sur le poids SO_2 des postes réglementaires via un calcul du poids SO_2 du bilan énergétique et un calcul de différents scénarios pour justifier celui retenu. Pas de seuil max. Calcul sur l'année à partir des énergies et des $kWh/m^2.an$
- réflexion sur le poids Déchets radioactifs des postes réglementaires via un calcul du poids Déchets radioactifs du bilan énergétique et un calcul de différents scénarios pour justifier celui retenu. Pas de seuil max. Calcul sur l'année à partir des énergies et des $kWh/m^2.an$
- réflexion sur le poids ODP du projet (impact sur la couche d'ozone) en justifiant que les équipements techniques retenus sont à ODP nul (oriente les équipements techniques destinés à contenir des fluides frigorigènes ou des solvants).

Conclusion : l'enjeu est la justification des choix de conception, le calcul réglementaire et la justification des choix des équipements retenus. **Pas d'indicateur carbone avec une valeur cible mais des variantes à comparer en termes de poids de polluants dont le carbone : une performance relative « bas carbone » entre différents projets de rénovation.**

Cible n°6 : Gestion des déchets d'activités (concerne surtout la phase exploitation)

L'objectif est la limitation de la production de déchets ultimes. C'est possible via le tri des déchets en phase exploitation pour permettre une valorisation optimale, en relation avec les filières locales, et via la mise en œuvre de matériaux de qualité pour augmenter la durée de vie.

→ réflexion sur la valorisation des déchets via la valorisation matière (réemploi, réutilisation, recyclage, régénération), énergétique (récupération des calories de l'incinération) et organique (compostage) : listing des déchets, classement par typologie, estimation des quantités, justifier de l'enlèvement des déchets conformément à la réglementation, ajouter une réflexion sur, voire la mise en œuvre systématique, de leur valorisation, prévoir des dispositions architecturales qui permettent le tri des déchets à la source (place suffisante, zone aménagée...)

La cible prévoit, dans son niveau le plus performant, la mise en place d'une valorisation de certains déchets sur le site via le compost ou des dispositifs de traitement particuliers.

→ réflexion sur une conception avec peu de déchet ou avec des déchets mieux valorisés : espaces de tri, compactage, protocole de séparation des déchets, valorisation sur site si possible

→ réflexion sur un système de gestion des déchets d'activité optimisé : dimensionnement adéquat des locaux (à justifier), maniabilité des bacs, attention sur les conditions d'hygiène (notamment traitement des nuisances olfactives) et sécurisation des locaux vis-à-vis du vent et de la pluie pour optimiser la rétention

→ optimisation des flux des déchets : stockage séparé des différents déchets, réflexion sur les circuits propres/sales, réflexion sur la position des zones de tri, y compris celles pour des apports volontaires

→ pérennité de la gestion des déchets avec une réflexion lors de la conception du système de gestion sur l'évolution des déchets suite aux éventuelles évolutions du bâtiment et des filières d'enlèvement

Conclusion : l'enjeu est sur la mise en place de procédures de tri et d'évacuation des déchets pour un traitement optimisé et différencié par les acteurs compétents ainsi que sur la réduction de la production de ces déchets. Il y a bien une première phase d'estimation des quantités mais le référentiel ne donne pas de valeur seuil permettant un encadrement.

Il n'y a pas non plus de quantification précise des déchets pour une équivalence carbone avec seuil ni de conclusion sur une approche bas carbone.

Cible n°7 : Maintenance – Pérennité des performances environnementales

L'objectif de cette cible est de garantir une bonne maintenance du bâti et de ses équipements afin de maintenir dans la durée les performances techniques valorisées dans les autres cibles. Cela passe par une conception du bâti et des équipements qui permette l'entretien-maintenance et la mise à disposition de moyens pour le suivi et le contrôle des performances et des consommations d'énergie et d'eau

→ accessibilité des équipements techniques : justifier des dimensions suffisantes des locaux techniques et des accès aux équipements

→ permettre aux nouveaux équipements de durer : réflexion sur une maintenance optimale, justifier le choix d'équipements qui durent, transmettre les recommandations à l'exploitant

→ s'assurer que la maintenance sera facilitée via la mobilisation d'un spécialiste de l'exploitation pendant la rénovation ou la définition de la stratégie de maintenance choisie.

→ mettre à disposition des moyens de comptage sur l'énergie et les postes de consommation, de plus en plus détaillés, en fonction du niveau visé pour la cible. L'arborescence des compteurs permet de justifier les moyens mis en œuvre. L'archivage des relevés est aussi valorisé.

→ mettre à disposition des moyens de comptage sur l'eau et les postes de consommation, de plus en plus détaillés, en fonction du niveau visé pour la cible. L'arborescence des comp-

teurs permet de justifier les moyens mis en œuvre. L'archivage des relevés est aussi valorisé.

→ mettre à disposition des moyens pour le suivi et le contrôle des conditions de confort dans les espaces : programmation des équipements, gestion des paramètres du confort, détection de défauts et alarmes, suivi du fonctionnement des systèmes

Conclusion : les enjeux sont la prise en compte de la maintenance avec des choix de conception qui en facilitent sa réalisation, le suivi de la performance énergétique, le suivi de la consommation d'eau et le contrôle des conditions de confort. Les justifications demandées concernent du dimensionnement d'espace, des dispositions pour permettre les accès, des plans de comptage et de suivi et une réflexion sur la programmation du fonctionnement des équipements.

Cela n'est pas traduit en termes d'équivalence carbone.

Le « bas carbone » dans les référentiels HQE Bâtiment du 07/06/22

Comme pour NF HQE Rénovation, certains thèmes n'ont pas de lien avec l'impact carbone d'une rénovation. Cette note revient uniquement sur ceux qui sont en lien en précisant les justifications à fournir pour conclure sur la façon dont l'impact carbone est abordé.

Thème Energie – consommation d'énergie primaire

Le référentiel demande une évaluation de la consommation d'énergie au plus près des futures consommations réelles du bâtiment, déduction faite de la production d'énergie renouvelable autoconsommée, pour l'ensemble des postes de consommation énergétique sur le périmètre spatial du bâtiment. Il faudra justifier du résultat par une simulation thermique dynamique et des notes de calculs en précisant les hypothèses considérées (météo, usages...). La consommation obtenue est alors traduite en classe avec un poids pour la note. Ce thème n'aborde pas directement la notion Carbone mais la réduction de la consommation énergétique aura un effet bénéfique sur le bilan Carbone du projet.

C'est aussi vrai pour les exigences du référentiel en lien avec le thème Performance économique qui demande une réflexion sur la diminution des coûts liés à la consommation énergétique, d'eau et des déchets. La diminution des quantités et une utilisation plus raisonnée et optimisée (système de suivi, GTB, flexibilité énergétique...) sont des leviers.

Il en est de même pour les exigences du référentiel en lien avec le thème Commissionnement. Le référentiel valorise la mise en place d'une démarche avec des acteurs et outils dédiés et sur une période suffisante. Cette organisation doit permettre d'anticiper des dérives et problèmes de fonctionnement, de rassembler davantage d'informations pour un meilleur suivi, de faciliter les échanges et la coordination des acteurs et de mettre en place plus rapidement les actions correctives nécessaires. Ainsi elle participe à une utilisation plus optimisée des ressources pour davantage de sobriété, avec au final un bénéfice carbone.

Thème Déchets

De la même façon que pour l'énergie, le référentiel introduit des dispositions pour réduire la quantité de déchets et encourager leur traitement. Les indicateurs cibles ne portent pas sur une quantité carbone (plutôt : part des déchets à valoriser via justificatif et traçabilité, quantité réemployée mais la réduction des déchets et leur meilleur traitement concourront à une diminution de l'impact Carbone du projet.

Thème Carbone

Le référentiel demande pour ce thème une évaluation des émissions de gaz à effet de serre effectives du bâtiment pendant sa phase d'utilisation. Il fait donc le lien avec la consommation d'énergie du thème Energie. Il propose la liste des impacts carbone des combustibles à considérer. Il fait ensuite correspondre le niveau obtenu à une classe et à un poids pour la note (meilleure note : 20 pour la classe A). Il n'y a pas de seuil à ne pas dépasser. C'est la note finale qui permettra de dire si on atteint ou non le niveau de certification visé.

Le référentiel demande également d'évaluer le poids carbone des déplacements domicile-travail des salariés et « visiteurs ou clients » à partir des distances cumulées parcourues et des parts modales en justifiant les données considérées. L'outil Effnergie-Ecomobilité peut servir de grille d'analyse. Mais le résultat n'est pour l'instant qu'informatif, pas de traduction en classe ou point pour impacter la note finale du thème Carbone, la valeur sera néanmoins affichée dans l'outil et intégrable au rapport exportable.

Thème Adaptation au changement climatique

Volet risques naturels : les exigences, traduites en niveau puis en point pour la note, concernent davantage une obligation de moyen sur l'analyse de risque et les dispositions mises en place qu'une obligation de résultats. Ainsi sera valorisée la mise en place de dispositions managériales, architecturales, techniques et d'actions qui permettent de respecter les dispositions réglementaires en vigueur ou d'aller au-delà.

Volet confort hygrothermique : les exigences valorisent une conception dans laquelle la température intérieure n'est pas trop haute avec une météo prospective. La justification s'appuiera sur des calculs de simulation thermique dynamique. L'évaluation est graduelle en fonction du temps de dépassement d'une température Tmax fixe (entre 26 et 30°C en fonction des usages, 28°C en bureau).

Volet réduction de l'effet d'îlot de chaleur : les exigences valorisent la stratégie de réduction d'ICU adoptée (leviers : végétalisation, ombrage, réflexion solaire des matériaux) et s'appuient sur des justificatifs du taux de végétation, des caractéristiques des matériaux et des études sur l'ICU.

Ce thème n'a donc pas d'approche carbone quantifiée.

Thème ACV

Pour la rénovation, ce thème s'appuie sur la méthode TRC de l'Alliance HQE-GBC pour calculer le Temps de Retour Carbone (méthode qui s'appuie sur la norme EN 15978) : l'indicateur correspond au rapport entre l'effort de rénovation (EGES PCE neuf) et le gain annuel énergétique et environnemental lié à la rénovation (EGES énergie avant – EGES énergie après)/50 ans. Il convient de réaliser un calcul pour justifier du résultat. Les données d'entrée environnementales devront s'appuyer sur la base INIES et le pouvoir de réchauffement climatique des différents produits avec un calcul selon la méthode E+C-. Le gain énergétique et environnemental s'appuiera sur les calculs énergétiques de la RT existant avec une retranscription en termes de pouvoir de réchauffement climatique (donc en impact CO2) avec les données de l'annexe 3 du référentiel E+C-.

Les points pour le thème dépendent alors de la réalisation effective de ce calcul pour un ou plusieurs scénarios et de la fourniture des justifications des données d'entrée. Il n'y a pas de valeur cible.

D'autres points sont accordés si un calcul ACV, selon la méthode de l'Alliance HQE-GBC pour la rénovation, est réalisé avec l'indication du résultat pour l'indicateur Changement cli-

matique seul ou aussi pour d'autres impacts environnementaux en justifiant les calculs, avec correspondance des éléments mis en œuvre sur le chantier.

A nouveau, c'est une valorisation de la démarche d'évaluation mise en œuvre. Il n'y a pas de valeur cible pour les résultats.

Thème Maîtrise des coûts – volet approches en coût global

L'exigence porte sur la réalisation d'un calcul en coût global mais avec une approche uniquement financière. Il convient d'inclure le coût d'investissement initial et les coûts différés ainsi que la valeur résiduelle. Il n'est pas demandé d'intégrer une externalité carbone pour valoriser une approche bas carbone. La note dépend alors du nombre de types de solutions étudiées. Des points sont aussi accordés en fonction du périmètre de l'analyse (valorisation d'un calcul sur l'ensemble des équipements des 13 lots de la classification HQE Performance donc du périmètre d'une ACV).

Thème Economie circulaire

Les exigences concernent :

- Le recours à des composants locaux (distance <180km ou région administrative du chantier) avec des points en fonction de la quantité utilisée, évaluée en % de coût d'achats par rapport au coût total des travaux ou du budget de Gros entretien Renouvellement.
- La réalisation d'étude sur la faisabilité du réemploi et de la réutilisation. C'est la démarche qui est valorisée et son contenu, pas de cible ici.
- Pour les composants hors terres, la proportion de produits de réemploi effectivement utilisée et la proportion de produits venant du chantier qui sera valorisée dans des filières de réemploi pour d'autres chantiers. La notation accorde plus de points en fonction de la quantité (évaluation en % des produits utilisés ou des produits restants qui fonctionnent).
- Pour les composants hors terres, la proportion de produits du site réutilisés sur site ou sur un autre site avec garantie de site et d'usage (pour s'assurer de la réutilisation, cadrage par contrat). La notation accorde plus de points en fonction de la quantité.
- Pour les bases-vies de chantier, le réemploi d'une base-vie existante ou de locaux existants.
- La réalisation d'étude ou état des lieux sur les filières locales pour justifier du choix de la provenance des produits et de l'énergie. L'objectif est d'engager une réflexion pour tenter de recourir d'abord aux filières locales.

Pour ces items, il n'y a donc pas de seuil carbone directement mais les seuils et dispositions indiqués contribueront à diminuer l'impact carbone global du projet.

Bilan :

Les labels HQE pour la Rénovation abordent la haute qualité environnementale selon différents aspects et avec des critères spécifiques pour chaque cible ou objectifs.

Concernant une approche « bas carbone » :

- Pour le label NF HQE Rénovation, différentes cibles renvoient à des sujets qui auront un impact sur le bilan du projet mais seule la cible 2 introduit la notion de comptage du carbone et peut donc permettre de valoriser des choix bas carbone en justifiant d'un gain. La méthode de décompte utilisée est celle de l'ACV classique avec une évaluation uniquement sur le périmètre des PCE et sur une durée de vie à choisir par la MOA. Le label n'impose pas de valeur seuil. L'enjeu est davantage la réalisation d'un décompte exhaustif afin de faire un bilan pour comparer des configurations et de s'assurer que les produits retenus sont connus avec un impact carbone évalué. Le label n'impose pas de valeur seuil.
- Pour le label HQE Bâtiment Rénovation, différents thèmes renvoient aussi à des sujets qui auront un impact sur le bilan carbone du projet mais le décompte carbone n'est présent que pour le thème Carbone et ne concerne donc que la production d'énergie et les déplacements domicile-travail. L'enjeu est davantage la réalisation d'un décompte. Néanmoins pour le poids carbone de l'énergie, la note dépend du résultat obtenu. Il y a donc bien un enjeu à viser un seuil à ne pas dépasser.
- Pour le label HQE Bâtiment Durable Rénovation, la notion carbone va plus loin. Ce label reprend l'exigence du HQE Bâtiment Rénovation et la complète avec une exigence sur la réalisation d'un calcul ACV et l'obtention d'un résultat pour le TRC (Temps de Retour Carbone). La méthode de calcul est celle de l'Alliance HQE-GBC pour la rénovation qui s'appuie sur la base INIES et la méthode E+C-. Pour l'impact du volet énergie, la consommation s'appuie sur la méthode de calculs de la RT pour l'existant. Là encore, la note ne dépend pas de la valeur obtenue (donc à nouveau pas de valeur seuil) mais valorise la réalisation d'un calcul et sa justification. Enfin, on retrouve également différentes exigences dans d'autres thèmes qui auront un impact sur le bilan carbone du projet sans quantification directe du gain carbone.

8. FOCUS SUR LA CERTIFICATION BREEAM

8.1 Présentation de BREEAM

La certification BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) est une certification britannique d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments, créée par le BRE (Building Research Establishment), un centre de recherche privé sur le bâtiment. BREEAM est proche de la certification HQE (Haute Qualité Environnementale) française mais il est actuellement la certification la plus reconnue au monde. Il est attribué à la suite d'un audit effectué par un expert assermenté et prend en compte de nombreuses cibles.

La certification se décline en plusieurs catégories, dont « New construction » pour le neuf et « Refurbishment and fit-out » pour les travaux de réhabilitation ou de rafraîchissement (c'est-à-dire concernant l'aménagement intérieur).

La catégorie « Refurbishment and fit-out » se décline elle-même en deux sous-catégories : le logement individuel (« Domestic building ») et les autres.

Dans tous les cas, La certification évalue une dizaine de critères, divisés en plus d'une quarantaine de sous-critères :

- Management ;
- Santé et bien-être ;
- Energie ;
- Transport (absent pour la sous-catégorie « Domestic buildings ») ;
- Eau ;
- Matériaux ;
- Gestion des déchets ;
- Biodiversité (absent pour la sous-catégorie « Domestic buildings ») ;
- Pollution ;
- Innovation (facultatif).

Chaque critère bénéficie d'une pondération qui lui est propre et qui dépend également de la sous-catégorie du bâtiment. Pour le logement individuel, la cible « Energie » dispose par exemple d'une pondération de 43 % alors qu'elle n'est que de 19 % pour les autres. De même, les sous-critères ne sont pas forcément définis de la même manière entre le logement individuel et les autres.

Enfin, en ce qui concerne les bâtiments qui ne relèvent pas du logement individuel, le candidat peut choisir de faire porter le label sur l'une ou l'autre des quatre parties de son bâtiment :

- Matériaux et structures ;
- Gros équipements (production de chaleur, CVC) dépendant du propriétaire ;
- Petits équipements (éclairage, émission de chaleur, production d'ECS) dépendant du locataire ;
- Aménagement intérieur.

Ainsi, le locataire d'un local commercial changeant de destination (transformation d'un magasin en un restaurant par exemple) peut donc demander la certification portant uniquement sur les petits équipements et sur l'aménagement intérieur.

Au final, après validation de garde-fous pour chaque critère, la validation des sous-critères attribue des crédits, qui une fois multipliés par les pondérations des critères donnent une note sur 100. Une note supérieure à 85 % reçoit la mention « Exceptionnel » et correspond aux 1 % de projets les plus innovants. Une note supérieure à 30 % reçoit la mention « Passable » correspond aux 75% de projets mettant en œuvre des pratiques usuelles.

8.2 Focus sur l'impact carbone de BREEAM

8.2.1 Pour les bâtiments qui ne relèvent pas du logement individuel

L'impact carbone est abordé de manière transversale dans les cibles « Management », « Energie », « Matériaux » et « Gestion des déchets » et plus précisément, par les sous-critères :

- MAN 03 « Responsible construction practices » : valorisation de mesures générales telles que l'utilisation de bois issu de forêts gérées durablement ou la minimisation de la pollution de l'air due au transport durant les travaux.
- ENE 01 « Reduction of energy use and carbone emissions » : valorisation de la consommation énergétique après travaux par rapport à un seuil dit réglementaire (le seuil réglementaire constitue un garde-fou à l'obtention des points de ce sous-critère) et de la part de cette consommation supportée par des énergies à faible impact carbone. Le calcul se fait à l'aide d'un logiciel spécifique.
- ENE 04 « Low carbon design » : valorisation des systèmes passifs (comme le free-cooling) et des énergies à faible impact carbone.
- ENE 05 « Energy efficient cold storage ».
- ENE 06 « Energy efficient transport systems ».
- ENE 07 « Energy efficient laboratory systems ».
- ENE 08 « Energy efficient equipment ».
- MAT 01 « Environmental impact of materials » : valorisation de l'utilisation d'un logiciel d'ACV jugé fiable par le BRE.
- MAT 03 « Responsible sourcing of materials » : valorisation de l'utilisation de matériaux réutilisés ou disposant d'une certification de provenance.

A noter que la certification BREEAM prend en compte l'impact carbone de la construction/réhabilitation/exploitation bâtiment, illustré par ces sous-critères, mais aussi de ses usagers grâce au critère « Transport » qui leur est entièrement dédié.

8.2.2 Pour le logement individuel

Les sous-critères sont quasiment identiques. Cependant, :

- Pour les sous-critères du critère « Energie », ce n'est pas un logiciel réglementaire mais celui permettant l'établissement du DPE.
- Pour le sous-critère « Matériaux », ce n'est pas un logiciel d'ACV, mais une base de données simplifiées, appelée « Green Guide ». Cette dernière a été créée par le BRE et est consultable en ligne.

8.3 Focus sur le sous-critère MAT 01

L'objectif de ce sous-critère est la réduction de l'impact du cycle de vie du bâtiment sur l'environnement grâce à la réutilisation des matériaux et à l'utilisation d'outils permettant d'analyser l'impact du cycle de vie de tout nouveau matériau à l'aide d'une évaluation robuste des informations environnementales des principaux éléments du bâtiment.

8.3.1 Pour les bâtiments qui ne relèvent pas du logement individuel

Cet objectif peut être atteint suivant deux options :

- En réalisant une ACV complète du bâtiment : 6 crédits sont atteignables, ce qui constitue le maximum atteignable.
- En analysant le cycle de vie matériau par matériau : 4 crédits sont atteignables.

Option 1 : ACV complète

Concrètement, la fiabilité du logiciel d'ACV déterminent 70 % du score obtenu. Les 30 % restants sont déterminés par sa capacité à prendre en considération les éléments de l'enveloppe du bâtiment (les éléments sont définis dans la méthode, mais correspondent simplement aux murs, planchers, escaliers, etc.). Ce score est calculé à l'aide de l'outil BREEAM Mat 01, puis est rendu sous forme de nombre de crédits obtenus.

L'outil BREEAM Mat 01 présente en fait dans ses onglets les scores de logiciels ACV qui ont été évalués par le BRE. Ainsi, le logiciel français ELODIE atteint un score de 86 %, ce qui permet aux candidats de scorer tous les crédits atteignables. Dans le détail, il n'obtient que 60 % pour la fiabilité du logiciel, notamment parce que la majorité des EPD utilisés ne se conforment pas à certaines normes et il n'obtient que 26 % pour sa capacité à prendre en considération les éléments de l'enveloppe, car il ne prend pas en considération les systèmes de communication, de sécurité et de contrôle du bâtiment, les protections contre le feu et la foudre, les escalators et les ascenseurs et les installations pour les eaux usées.

Il est donc évident que la méthode d'évaluation de l'ACV importe peu dans le cadre du logiciel BREEAM.

Cette façon d'évaluer peut également paraître étonnante, puisque le résultat de l'ACV n'a aucune importance dans l'attribution des crédits. Il s'agit seulement de pousser les candidats à utiliser un outil performant d'ACV, mais aussi pour le BRE, de constituer une base de données avec les résultats des candidats, permettant d'introduire, dans les années à venir, des seuils fiables à atteindre dans une nouvelle version du label.

Option 2 : ACV par matériau

Paradoxalement, le résultat de l'ACV a plus d'importance pour l'option 2 que pour l'option 1. En effet, dans ce cas, l'évaluation est basée sur un système à points et les points sont attribués grâce à un tableau à double entrée : pourcentage de l'élément réutilisé et pourcentage des produits neufs pour cet élément disposant d'informations environnementales fiables. Pour chaque élément, un maximum de 5 points est atteignable. Ces points sont ensuite multipliés par une pondération par élément et la somme de ces pondérations permet d'accéder au nombre de crédits obtenus.

A noter que c'est l'équipe de maîtrise d'œuvre qui se met d'accord sur les pourcentages à prendre en compte et que ceux-ci n'ont pas à être mesurés, mais simplement évalués à 25 % près.

8.3.2 Pour le logement individuel

Ce sous-critère permet d'obtenir un maximum de 25 crédits, ce qui est particulièrement important. Le critère matériau est d'ailleurs particulièrement bien coté, puisque sur les 118 crédits disponibles, 48 le sont dans ce critère. A titre de comparaison, seuls 13 crédits sont disponibles pour ce critère pour les bâtiments qui ne relèvent pas du logement individuel, sur un total de 149.

Il est donc clair que l'un des objectifs du label pour le logement individuel est de sensibiliser les propriétaires, les occupants, les conceptions et les exploitants aux avantages des bâtiments ayant un impact réduit sur l'environnement pendant leur cycle de vie.

L'importance de la conservation et de la réutilisation des éléments existants est également explicitement mise en avant.

Comme pour l'option 2 des bâtiments qui ne relèvent pas du logement individuel, il s'agit ici de quantifier l'impact environnemental des nouveaux éléments, cette fois-ci grâce à un calculateur lié à la base de données simplifiée « Green Guide », qui donne une évaluation environnementale sous la forme d'une lettre allant de G à A+ (pouvant éventuellement être dérivé d'un EPD). Les éléments à évaluer se restreignent cependant aux éléments de l'enveloppe : toit, murs extérieurs, murs intérieurs, planchers bas et intermédiaires, fenêtres.

Les éléments réutilisés sans travaux sont modélisés dans le calculateur, tout comme les nouveaux éléments, mais ceux-ci bénéficient d'un impact particulièrement bas. Ceux qui sont réutilisés mais bénéficient d'une amélioration thermique sont également valorisés par des crédits bonus (par exemple, un mur extérieur que l'on isole).

8.4 Conclusion

Par rapport à la certification BREEAM pour le neuf, celle pour la réhabilitation (que ce soit pour le logement individuel ou non) ne semble pas très différente. C'est un point positif, car les acteurs (maîtres d'ouvrages, mais aussi bureaux d'études) qui ont l'habitude de porter la certification sur des opérations neuves ne verront pas de difficulté à les porter sur des opérations de réhabilitations.

Cependant, la certification est lourde à mettre en place avec sa méthode de 300 pages (certes pertinentes) et s'insère donc difficilement dans les pratiques professionnels d'acteurs non-initiés. Elle risque donc de se cantonner, comme c'est déjà un peu le cas pour le neuf, à des opérations de grande envergure, avec un fort impact commercial (typiquement, des immeubles de bureaux parisiens). On constate d'ailleurs en faisant quelques recherches que le label BREEAM pour le logement individuel est très peu attribué.

En ce qui concerne l'impact environnemental, le label BREEAM a avant tout pour objectif de le démocratiser, puisqu'aucun seuil n'est exigible pour l'instant. Cependant, à nouveau, cette démocratisation se fera plus facilement pour les opérations de grande envergure, où les acteurs ont l'habitude de déployer des outils, même détaillés comme des logiciels d'ACV, plutôt que sur des petites opérations de logement individuel, où même des outils simplifiés ne suffiront pas à convaincre les maîtres d'ouvrage.

9. ETAT DE L'ART SCIENTIFIQUE SUR L'IMPACT CARBONE DES RÉHABILITATIONS.

9.1 Introduction

Le secteur du bâtiment est identifié comme l'un des secteurs les plus émetteurs de gaz à effet de serre et consommateurs d'énergie fossiles. Dans un contexte de transition écologique, les bâtiments constituent donc un des plus importants leviers de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Bien que les directives se concentrent désormais sur les performances environnementales des bâtiments neufs, les études et les initiatives de labels portant sur les impacts de la réhabilitation et de la rénovation augmentent. Au sein du parc bâti européen, 90% des bâtiments ont été construits avant 1990 et représentent près de 30% des émissions de CO₂ annuelles, alors que le rythme de construction neuve est estimé à seulement 1% dans le secteur résidentiel. Atteindre des niveaux de performances énergétiques tout en minimisant les coûts financiers et environnementaux des projets de réhabilitation et de rénovation énergétiques constitue un vrai défi à la hauteur des enjeux environnementaux actuels.

Bien que la réhabilitation énergétique soit largement encouragée, les analyses en cycle de vie sont encore peu pratiquées pour ce type de travaux. Pendant de nombreuses années, toute l'attention portait sur les réductions des consommations énergétiques durant la phase d'usage du bâtiment. Or nous pouvons envisager que les travaux de réhabilitation et de rénovation énergétiques contribuent à la diminution des consommations énergétiques mais aussi à l'économie de ressources et de procédés, grâce au réemploi de matériaux et structures existantes. Le focus unilatéral lié aux économies d'énergie suppose que l'impasse soit faite sur la notion d'impact environnemental d'une réhabilitation, qu'il soit positif ou négatif. Dans les deux cas, le contexte actuel justifierait l'importance d'avoir recours à une analyse de cycle de vie lors d'un projet de réhabilitation ou de rénovation visant des économies d'énergie.

Lorsque dans un projet de réhabilitation, les travaux sur la structure sont conséquents, est-ce que les impacts liés aux matériaux augmentent ? Est-ce que l'opération reste néanmoins plus vertueuse qu'une démolition suivie d'une construction neuve performante ? Où se situe la limite d'analyse des impacts d'un projet de réhabilitation ? Faut-il tenir compte uniquement des éléments ajoutés à la structure existante ?

A quel niveau de performance environnementale se placent les rénovations actuelles ? Est-ce que les économies d'énergie et les émissions de CO₂ évitées en phase d'usage contribuent à compenser entièrement les impacts liés aux matériaux et à la mise en œuvre pour un projet de rénovation ? Ce sont autant de questions qui méritent d'être approfondies dans le contexte de massification de la rénovation, de diminution de l'empreinte environnementale du secteur du bâtiment et d'atteinte des objectifs de neutralité carbone.

Ce rapport liste quelques contributions issues de la littérature scientifique, réalisées sur l'analyse environnementale des projets de rénovation et de réhabilitation selon la méthode d'analyse en cycle de vie (ACV), ou selon un ensemble d'indicateurs économiques et environnementales qui dépassent le cadre de l'ACV classique. Ces productions ont pour objectifs d'apporter des premiers éléments de réponses aux questions soulevées précédemment mais aussi de proposer des pistes d'approfondissement afin d'initier un travail de développe-

ment d'outils d'aide la décision pour la conception de projets de réhabilitation performants sur les plans énergétique et environnemental.

9.2 Contexte et problématiques

(Vilches et al., 2017) souligne la diversité des termes employés dans la littérature scientifique (« retrofitting, refurbishment, renovation, repair, restoration ») et affirme que ces différences peuvent constituer une difficulté pour comparer les différentes études.

Le terme « refurbishment » est utilisé par la commission européenne pour décrire des opérations qui visent à la fois une réduction significative des consommations d'énergie et la mise en place d'un système énergétique mutualisé (réseau de chaleur urbain, ...). Ce sont soit des travaux sur l'enveloppe (isolation principalement) soit des travaux d'installation de nouveaux systèmes énergétiques plus performants.

Les interventions qui consistent à ajouter de nouveaux matériaux ou équipements qui n'étaient pas initialement présents sont souvent dénommées « retrofitting ». Pour les termes « renovation » ou « refurbishment », ces opérations présentent généralement des travaux similaires à ceux menés lors d'une opération de « retrofitting » mais elles peuvent également intégrer des travaux d'amélioration (agrandissements et travaux d'ordre esthétique). Enfin, d'autres termes tels que « repair » ou « restoration » viennent compléter ce panel. Le terme « repair » permet de décrire des opérations visant à redonner une fonction sans obligatoirement rétablir l'état d'origine contrairement à la restauration qui vise à remettre un élément dans son état d'origine.

(Vilches et al., 2017) met en avant que les études les plus récentes portaient majoritairement sur l'analyse de l'impact environnemental lié aux économies d'énergies en phase d'usage après rénovation, notamment grâce aux travaux d'isolation. Alors que très peu d'études s'intéressent à l'impact environnemental lié aux travaux de réparation sur le gros œuvre et le second œuvre. De manière plus générale, une minorité d'études adoptent une vision plus large en tenant compte des émissions carbone sur les autres phases du cycle de vie, telles que les phases de production des matériaux A1-A3, de mise en œuvre A4-A5, et fin de vie C1-C4) ou l'équilibre entre l'investissement carbone et les économies financières réalisées (Tadeu et al., 2015).

Parmi les études qui s'intéressent aux émissions de carbone sur les autres phases du cycle de vie que la seule phase d'usage, la méthode d'ACV est la méthode la plus largement employée. (Thibodeau, Bataille, & Sié, 2019) ont analysé 41 études d'ACV de projets de réhabilitation et ont montré que 80% de ces études ne font que comparer différents scénarios de réhabilitation entre eux, et ne comparent pas un scénario de réhabilitation à un scénario de construction neuve. Par ailleurs, (Thibodeau, Bataille, & Sié, 2019) ont montré que la durée de vie des bâtiments est fixée pour 80% de ces études à 50-60 ans. Or cette durée est un paramètre important dans une analyse de cycle de vie car elle peut plus ou moins renforcer l'impact de la phase d'usage.

D'après (Weiler et al., 2017), l'intervention sur des bâtiments existants implique la mise en œuvre de quantité de matériaux et d'énergie grise pour l'enveloppe plus importante que si le bâtiment avait été conçu avec de tels objectifs de performance environnementale. La mise en œuvre de systèmes d'énergie renouvelable tend à augmenter l'empreinte carbone du bâtiment. En outre, bien qu'une rénovation ait pour objectif de prolonger la durée de vie d'un bâtiment, la durée de vie des matériaux et équipements remplacés est souvent plus courte que celles d'une nouvelle structure, le capital carbone pourrait ainsi être disproportionné par

rapport aux économies d'énergie et de carbone réalisées en phase d'usage sur la durée de vie restante du bâtiment (Sahagun and Moncaster, 2012).

Un cas d'étude au Portugal d'un bâtiment résidentiel présentant des caractéristiques patrimoniales (Mourão et al., 2019) a montré que les quantités importantes de matériaux et d'énergies mobilisées pour remplacer des éléments préindustriels très lourds ne sont pas toujours compensées par les économies d'énergie en phase d'usage. Remplacer des éléments plutôt que de les réparer, peut être associé à une empreinte énergétique (énergie grise) plus importante et dépend fortement des conditions climatiques et du niveau de performance visé.

En revanche, d'autres publications sur l'évaluation environnementale des projets de réhabilitation sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment attestent que l'impact environnemental est plus élevé si les bâtiments ne sont pas réhabilités ou s'il est entrepris de démolir pour reconstruire (Alba-Rodríguez, 2016; Itard & Klunder, 2007). Même en présence d'un bâtiment fortement dégradé, la réparation et les travaux de rénovation impliquent de moindres coûts financier et environnemental qu'un projet de reconstruction neuve.

Dans la cadre d'une ACV du berceau (module A) à la tombe (module C), réalisée sur un bâtiment de bureaux pour un scénario de réhabilitation et un scénario de démolition-reconstruction, (Marique et al., 2018) mettent en avant quels impacts énergétique et carbone de la phase de construction et de démolition sont prépondérants. Leur étude aboutit à la conclusion qu'une réhabilitation énergétique ambitieuse conduit à des impacts environnementaux bien moindres que ceux associés à une reconstruction d'où l'importance d'une analyse en cycle de vie.

L'intégration d'indicateur économique pour ce type d'objet d'étude est de plus en plus fréquente pour justifier l'investissement parfois plus conséquent pour un projet de réhabilitation. Cette approche a été étudiée par (Morelli, Harrestrup, and Svendsen, 2014) afin d'estimer le coût d'une rénovation par rapport à celui d'une démolition suivie d'une construction neuve. Leur méthode prend en compte l'ensemble des travaux de réhabilitation à l'investissement, les coûts en phase d'usage et de maintenance, ainsi que la valeur immobilière du bâtiment. Le cas d'étude, des bâtiments construits entre 1850 et 1930, était en faveur d'un projet de réhabilitation sur le plan économique.

Dans le cadre d'une étude sur un parc de logements en Chine, (Luo et al., 2022) ont réalisé une ACV sur des bâtiments en tenant également compte de l'aménagement des espaces extérieurs et des infrastructures. Le projet de réhabilitation comprend 16 mesures et les résultats sur la réduction des émissions carbone peuvent être surestimés si les émissions de carbone liées aux autres modules que la phase d'usage ne sont pas prises en compte. La sur-estimation étant évaluée à 5.54%.

L'analyse produite par (Anderson et al., 2015) montre que les matériaux nécessaires pour une rénovation (nouveaux matériaux et matériaux retirés) peuvent augmenter l'impact carbone matériaux de 7 à 14%. Toutefois, ces études mettent en avant que malgré une augmentation de l'impact carbone lié au remaniement de certains matériaux et lots, ces émissions sont compensées par les économies « carbone » liées aux consommations d'énergie en phase d'usage. Par conséquent les réhabilitations ont un effet positif sur le bilan carbone complet.

9.3 Performances des projets de réhabilitation

En réalisant une étude ACV à l'aide des outils OneClick LCA pour la réhabilitation énergétique d'un bâtiment industriel en briques construit au XIX^{ème} siècle et à valeur patrimoniale, (Opher et al., 2021) ont mis en évidence que 69% des émissions de gaz à effet de serre du projet sont associées aux matériaux neufs (de l'extraction des matières premières et à leur transformation), que 20% sont dues au remplacement de certains matériaux durant la durée de vie du bâtiment post-réhabilitation, et les 11% restants à la phase de mise en œuvre. Parmi les 69% des émissions liés aux matériaux neufs, ce sont les nouveaux systèmes énergétiques et la réalisation d'un sol en béton qui représentent à eux seuls la majorité de l'empreinte carbone (57%). Le poids carbone des travaux d'amélioration de l'enveloppe et celui des fondations est minime.

(Alba-Rodriguez et al., 2021) ont montré, à travers leur modèle d'évaluation économique et environnementale appliqués à trois projets de réhabilitation de bâtiments construits avant 1948, que le remplacement d'éléments dégradés ou obsolètes ne représente que le 4^{ème} poste le plus impactant du projet d'un point de vue environnemental. Par ailleurs, les coûts associés à la réhabilitation de ces bâtiments sont entre 5% et 15% moins importants que ceux associés à une démolition suivie d'une construction neuve. Tandis que l'impact environnemental d'une réhabilitation est 71% à 76% moins important que celui d'une démolition suivie d'une construction neuve. De plus, les mesures de réduction des consommations énergétiques permettent de montrer que les émissions annuelles de CO₂ liées à l'énergie sont réduites de 54% et les consommations d'énergie pour le chauffage et le refroidissement diminuées de 80%.

Le coût financier est seulement 5 à 15% moins important. Toutefois l'impact environnemental est 70% moins élevé. La réduction annuelle de 50% des émissions de CO₂ et celle de 80% de la consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement sont aussi des éléments en faveur de la réhabilitation. Ces éléments montrent que la dimension économique du projet n'est pas le seul facteur à considérer, alors que les impacts environnementaux évités sont significatifs.

(Rabani et al., 2021) ont comparé les performances d'un bâtiment de bureaux construit dans les années 80 en Norvège et celles de ce même bâtiment après différents scénarios de réhabilitation énergétiques sur la base de simulations pour une durée de vie du bâtiment de 60 ans. Les résultats montrent que quel que soit le scénario de réhabilitation les émissions de CO₂ sont réduites en moyenne de 52% (la plus grande réduction étant de 73%), principalement grâce aux économies d'énergies réalisées.

La part d'émissions associées à la phase B6 « Utilisation d'énergie » est de 77% pour le bâtiment non réhabilité alors que cette part est de 43-46% une fois réhabilité. Il s'agit donc d'une réduction de 31-34%.

Concernant les autres émissions de carbone, non associées aux consommations d'énergie en phase d'usage, les plus grandes quantités émises, concernent les phases A1-A2-A3 (19-23%), les phases de transport A4 et de construction A5 (24-31%) ainsi que la phase de fin de vie C (25%), l'installation des CVC étant le poste le plus émetteur parmi tous les matériaux neufs intégrés aux travaux de réhabilitation, suivi de la réalisation d'un nouveau sol en béton. Les émissions associées aux travaux sur l'enveloppe et à la toiture étaient minimales par rapport à ces deux premiers postes. Au total, entre 54 et 57% des émissions de carbone sont liées à l'ajout de matériaux.

Bien que le recours à des matériaux supplémentaires dans le cadre d'une réhabilitation augmente la part carbone du bâtiment par rapport au bâtiment d'origine (12-19% d'émissions supplémentaires), la réduction des émissions de CO₂ associée aux travaux de réhabilitation compense largement les émissions liées aux nouveaux matériaux. Au global et sur l'ensemble du cycle de vie, les scénarios de réhabilitation étudiés permettent de réduire les émissions de CO₂ du bâtiment initial.

9.4 Retours sur investissement carbone

D'autres résultats viennent conforter les bénéfices d'un projet de réhabilitation, à partir d'indicateurs économiques qu'est par exemple le retour sur investissement. En effet, les dimensions économique et temporelle sont essentielles dans le processus décisionnel en faveur de la réhabilitation plutôt que d'une démolition suivie d'une construction neuve. C'est pourquoi certaines études associent à l'analyse des impacts environnementaux une analyse des coûts, soit via des indicateurs économiques adaptés soit par une analyse des cycles des coûts « Life Cycle Cost analysis (LCC) ». Cette approche leur permet d'étudier les coûts d'investissement, le ratio coûts-bénéfices au regard du prix de l'énergie. Le parallèle entre les coûts et l'impact environnemental est particulièrement intéressant comme l'illustre (Alba-Rodriguez et al., 2021), puisqu'une faible augmentation à l'investissement peut être associée à d'importantes réductions des impacts sur l'environnement.

Un autre indicateur tout aussi intéressant à associer à une ACV est le retour sur investissement carbone (« carbon payback time »). Cet indicateur définit la durée nécessaire pour que les émissions de carbone associées aux travaux d'amélioration (matériaux et équipements) soient compensées par la réduction des émissions de carbone liées aux consommations d'énergie en phase d'usage. Il s'agit donc d'un ratio entre l'impact carbone ajouté lors de la réhabilitation et les économies carbone réalisées en phase d'usage. Il permet ainsi d'identifier le scénario de réhabilitation le plus rapidement performant sur la partie carbone.

(Asdrubali et al., 2019) ont évalué le retour carbone de différents scénarios de réhabilitation d'une école dans le Nord de l'Italie. Les résultats de l'ACV conduite sur 50 ans montrent que pour atteindre un optimum financier et une performance énergétique de 70kWh/m²/an, le retour sur investissement carbone est de 3.2 ans.

(Bin and Parker, 2012) ont étudié l'impact environnemental d'une réhabilitation d'un logement ancien datant du XIX^{ème} siècle au Canada. Ce projet intégrait un système énergétique solaire et géothermique. Le retour sur investissement sur le plan énergétique et carbone est de moins de 2 ans.

Sur les seuls modules A1-A4 et C, les résultats des simulations réalisées par (Sahagun and Moncaster, 2012) montrent que les travaux de rénovation énergétique présentent un fort potentiel de réduction des consommations énergétiques et des émissions carbone sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment rénové avec des retours sur investissement carbone de moins de 2 ans pour un scénario qui inclut des matériaux issus d'un périmètre local de moins de 50km.

(Vilches et al. 2017) sur la base de l'étude de 13 publications ont montré que les consommations d'énergie d'un bâtiment rénové sur la durée restante de son cycle de vie, sont diminuées de 30% à 80% par rapport à un scénario sans rénovation, et que la période de retour

sur investissement pour l'énergie et autres indicateurs environnementaux est d'environ 7,5 ans au maximum.

(Wrålsen et al. 2018) ont réalisé une ACV pour un projet de réhabilitation sur un bâtiment résidentiel des années 60 en Norvège. L'objectif du projet est d'atteindre le niveau passif dans une période de 30 ans. Les résultats de l'analyse ont montré que tous les indicateurs d'impacts environnementaux ont diminué en moyenne de 56% à 96% par rapport au bâtiment d'origine et que le retour sur investissement carbone est de 1.09 an

(Opher et al., 2021) ont montré que l'impact carbone du projet de réhabilitation serait compensé par les économies d'énergie réalisées (chauffage, rafraîchissement, éclairage) avec un retour sur investissement sur le carbone de 3 à 13 ans. Ce dernier dépend de la nature de l'énergie utilisée en phase d'usage B. En effet, comme l'ont noté (Chastas et al., 2017; Chau et al., 2015; Ciulla et al., 2016), le bilan entre l'empreinte carbone ajouté à travers les mesures de réhabilitation et les économies d'énergie en phase d'usage dépendent fortement de facteurs spécifiques au site et au bâtiment (conditions météorologiques, mix énergétiques,...).

Le retour sur investissement carbone a aussi été intégré à l'étude réalisée par (Rabani et al., 2021). Ces périodes sont comprises entre 3.9 à 5.6 années sans considérer de changement sur le système énergétique. Or modifier le type d'énergie pourrait raccourcir cette période. Il est estimé qu'une modification de performante de l'enveloppe et un changement d'énergie pourraient contribuer à un retour sur investissement carbone de 1.09 an pour les bâtiments résidentiels en Norvège.

(Luo et al., 2022) ont également recours à cet indicateur de retour sur investissement carbone (CPBT). Dans leur cas d'étude, le retour sur investissement carbone est de 3.56 ans.

9.5 Méthodologie et périmètres dans le cadre des ACV

Les modules du cycle de vie étudiés dans le cadre d'une ACV de projet de réhabilitation ne sont pas toujours les mêmes. Comme le souligne (Thibodeau, Bataille, & Sié, 2019), la majorité des études (97%) tiennent compte des phases de production et de fabrication des matériaux ainsi que de la phase d'usage du bâtiment. Mais 71% de ces études intègrent dans leur analyse d'autres phases du cycle de vie issues des modules A et C et seulement 41% analysent le module D. Les 41 études recensées utilisent toutes les indicateurs de potentiel de réchauffement climatique et de consommations d'énergie.

Pour l'ACV de la réhabilitation du bâtiment industriel en briques, (Opher et al., 2021) ont par exemple étudié les émissions carbonées pour les modules de production (A1, A2 et A3), de construction (A4 et A5), d'usage (B4, B5 et B6) et de fin de vie (C3 et C4).

Les travaux de (Vilches et al., 2017) ont mis en évidence différentes méthodes d'ACV adaptées à la réhabilitation énergétique à savoir :

- Une ACV complète (A1-5, B1-7 et C)
- Une ACV simplifiée (uniquement sur l'étape produit A1-3, remplacement B4 et utilisation de l'énergie B6).
- Une ACV sur la phase d'utilisation

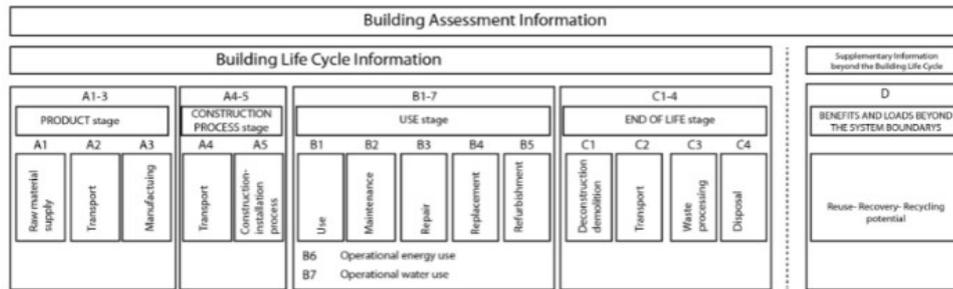


Fig. 1. Building Assessment Modules for Life Cycle Assessment according to EN 15804:2012 [72].

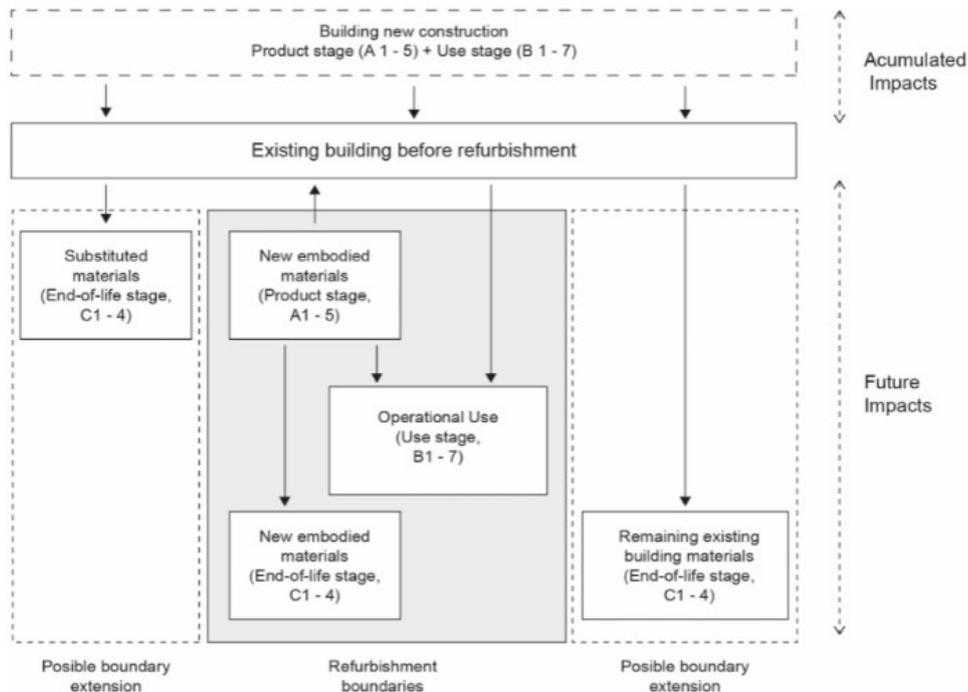


Figure 1 Building refurbishment boundaries - Vilches et al., 2017

Les résultats de cette analyse montrent que la méthode d'ACV simplifiée peut être suffisamment précise comme outil d'aide à la décision pour des projets de réhabilitation énergétique et est d'ailleurs la méthode la plus largement employée. Néanmoins les limites du périmètre des ACV peuvent différer fortement d'une étude à une autre tout comme la nature des travaux à prendre en compte notamment ceux qui n'ont pas vocation à améliorer la performance énergétique du bâtiment mais qui restent nécessaires au maintien du bâti. C'est d'ailleurs ce que précise (Opher et al., 2021) dans leur étude pour laquelle l'ensemble des travaux ont été pris en compte pour le calcul de l'impact carbone. Or cette prise en compte, sans distinction de travaux, pourrait expliquer l'obtention de valeurs de retours sur investissement carbone plus importantes que celles de la littérature.

Contrairement aux conclusions de (Vilches et al., 2017) sur la pertinence d'une ACV simplifiée, l'étude de (Luo et al., 2022) met en avant l'importance de considérer les modules A mais aussi C pour conduire une ACV d'un projet de réhabilitation qui soit représentative. En effet, si les émissions de carbone des modules A (production, transport, construction) et C (démolition) ne sont pas comptabilisées, la réduction des émissions de carbone du projet est surestimée. Dans l'étude de cas choisie par (Luo et al., 2022), la réduction est de 35,13% pour une estimation sans les modules A et C, alors qu'elle est de 29,56% dans le cas où l'ensemble des modules est comptabilisé.

Pour l'analyse des scénarios de réhabilitation, (Rabani et al., 2021) n'ont pris en compte que les émissions associées aux matériaux et équipements ajoutés. L'ACV n'est appliquée qu'aux composants nouveaux introduits par les mesures de réhabilitation ou à ceux qui sont retirés/remplacés, et non à l'entièreté du bâtiment comme cela est pratiqué pour des ACV conduites sur des constructions neuves. Des quantités de CO₂ pour le bâtiment de référence ont néanmoins été calculées sur la base des mètres.

C'est également la méthode employée par (Luo et al., 2022) avec des indicateurs d'émissions carbone pour chaque mesure mise en œuvre à trois étapes du projet : en phase de production, d'usage et de démolition.

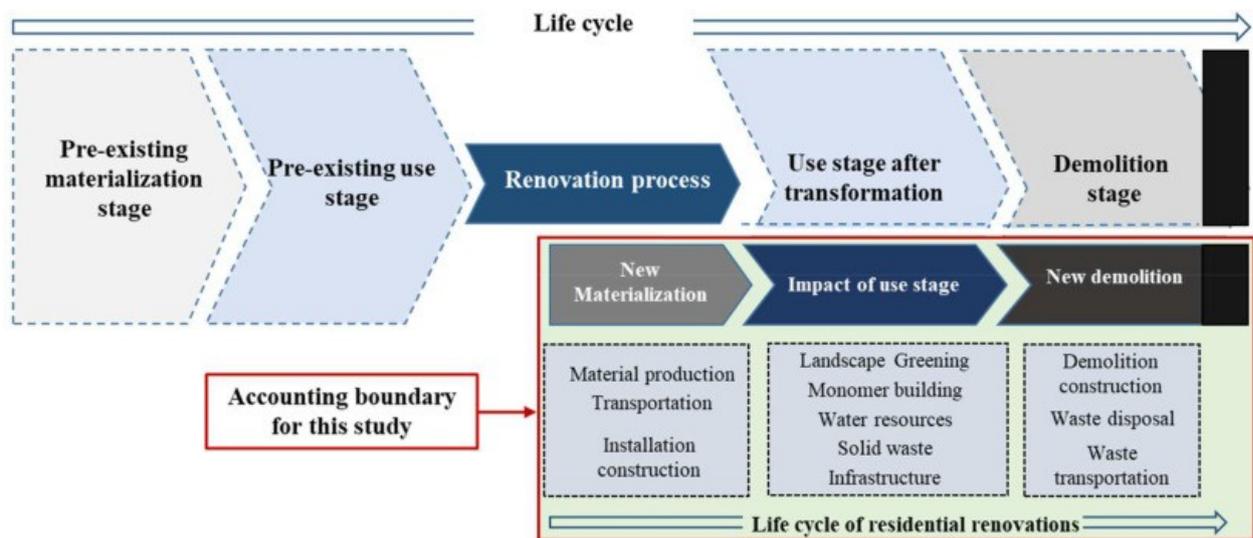


Figure 2 Process boundary of accounting- (Luo et al., 2022).

(Nydaahl et al., 2019) ont eu recours dans le cadre d'une analyse de cycle de vie, au retour sur investissement et au rendement annuel comme indicateurs adaptés de la performance environnementale pour quantifier les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie des lots d'un projet de rénovation énergétique. Chaque mesure, au sens de travaux réalisés, a fait l'objet d'une analyse selon la méthode d'ACV en utilisant les critères « Energy payback time (EPBT) » et « Energy Return on Investment (EROI) ». Cette méthode permettrait également de réaliser des comparaisons pour chaque lot.

Enfin, de façon générale, la durée de vie choisie pour étudier l'opération de réhabilitation est de 50 ou 60 ans.

9.6 Méthodologies hors ACV

Contrairement aux autres études, la méthodologie adoptée par (Alba-Rodriguez et al., 2021) n'a pas recours aux outils classiques d'ACV. Elle se limite aux modules A (production) et B (usage) de l'opération de réhabilitation en s'appuyant sur deux indicateurs que sont le coût et l'empreinte écologique (EF-based methodology) afin de proposer une approche plus simple d'utilisation.

Cette évaluation économique et écologique par lots de la réhabilitation aboutit à la conclusion suivante : le remplacement d'éléments dégradés ou obsolètes ne représente que le 4ème poste le plus impactant du projet d'un point de vue environnemental.

9.7 Limites des modèles

Dans leurs travaux, (Opher et al¹., 2021) ont souligné que les résultats dépendent fortement de la durée de vie des matériaux, du modèle utilisé et de la qualité des données collectées. Les sources d'erreurs et d'incertitudes sont liées aux données partielles voire manquantes, ainsi qu'aux hypothèses concernant les scénarios. La durée de vie choisie pour le bâtiment, le caractère local et non-local des matériaux (plus ou moins de km parcourus), la part de matière recyclée dans les composants en acier sont autant de paramètres sensibles. Par ailleurs, des différences dans les données sur les matériaux et composants peuvent générer des écarts dans les résultats d'ACV de 15% d'où l'importance de données environnementales robustes.

Dans l'étude réalisée par (Opher et al., 2021), le retour sur investissement carbone (carbon-payback) a été calculé sur l'ensemble des travaux. L'objectif étant que les émissions générées lors de travaux soient compensées par celles évitées grâce aux économies d'énergie réalisées. Cependant, pour caractériser le retour sur investissement carbone des travaux de rénovation énergétique uniquement, il faudrait être en mesure de bien distinguer les travaux de maintenance (structure, couverture) des travaux visant à améliorer la performance énergétique et environnementale du bâtiment (ouvertures, isolation, équipements). Cette distinction n'est pas toujours évidente à réaliser.

Parmi les principales limites mises en évidence par (Alba-Rodriguez et al., 2021), l'une concerne les travaux de réhabilitation réalisés sur les bâtiments à valeur patrimoniale. La définition des lots de travaux pour ce type de projet est rarement disponible dans les différentes bases de données des coûts de la construction car il s'agit souvent de travaux et des solutions techniques spécifiques qui dépendent de la période de construction et de la typologie des bâtiments anciens. Cette situation est d'autant plus complexe si certains éléments remarquables ont été endommagés ou que des interventions antérieures ont modifié de manière significative la bâtisse. Ces points compromettent la création de lots génériques de travaux. Toutefois, un certain nombre de lots pour les projets de réhabilitation, notamment pour les bâtiments à usage d'habitation, sont similaires à ceux référencés dans la construction neuve. Et dans ce cas, il est possible d'exploiter les bases de données déjà en place (réseaux électriques, systèmes pour l'ECS, la ventilation).

Le choix des modules du cycle de vie, la sélection des travaux étudiées (contribuant ou pas à la performance énergétique) et l'empreinte carbone du bâtiment de référence, sont des paramètres pour comparer de manière juste les résultats des ACV et notamment les valeurs de certains indicateurs comme le « carbon payback time », largement employé dans les études.

1

10. CONCLUSION

Afin de consolider les principaux résultats et conclusions de ces études, il serait pertinent d'adopter plusieurs méthodes sur un panel suffisamment représentatif des typologies et nature de travaux réalisés dans le cadre de projets de réhabilitation. L'évaluation économique et environnementale de l'étape de démolition semble être une étape indispensable pour effectuer une comparaison entre le projet de réhabilitation et celui de démolition-construction neuve selon les mêmes indicateurs. Peu d'hypothèses ont été formulées concernant le devenir des éléments issus de la démolition (réemploi, réutilisation, recyclage) en phase D et cela constitue donc un des points à affiner.

Les différentes méthodes exposées sont efficaces pour comparer différents scénarios de réhabilitation pour un bâtiment ou comparer un scénario de réhabilitation à un scénario de démolition-reconstruction. En revanche, elles ne permettent pas, comme dans la RE 2020, de fixer des seuils de carbone admissibles quel que soit le bâtiment. Ces méthodes dépendent des caractéristiques du bâtiment et sont en conséquence fortement dépendantes du type de mesures mises en œuvre. Or la plupart de ces méthodes d'ACV ne s'applique qu'aux mesures mises en œuvre et non à l'entièreté du bâtiment comme c'est le cas dans la méthode de calcul employée pour les bâtiments neufs dans la RE 2020.

Quelle que soit la méthode employée, les résultats sont sensibles aux données d'entrées notamment celles sur les matériaux. L'ensemble des études insistent sur l'importance d'une base de données robuste, ce qui conforte la création de fiches de déclaration environnementale et sanitaires les plus précises possibles.

RÉFÉRENCES

- John E. Anderson, Gebhard Wulfhorst, Werner Lang**, 2015. Expanding the use of life-cycle assessment to capture induced impacts in the built environment, *Building and Environment*, Volume 94, Part 1
- F. Asdrubali, I. Ballarini, V. Corrado, L. Evangelisti, G. Grazieschi, C. Guattari**, 2019. Energy and environmental payback times for an NZEB retrofit. *Build. Environ.*, 147, pp. 461-472
- Vilches, Alberto & García-Martínez, Antonio & Sánchez-Montañés, Benito**, 2016. Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. *Energy and Buildings*. 135.
- Thibodeau, Charles & Bataille, Alain & Sié, Marion**, 2019. Building rehabilitation life cycle assessment methodology – state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 103.
- Weiler, Verena & Harter, Hannes & Eicker, Ursula**, 2016. Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. *Energy and Buildings*. 134. 319-328. 10.1016/j.enbuild.2016.11.004.
- D, Sahagun & Moncaster, Alice**, 2012. How much do we spend to save? Calculating the embodied carbon costs of retrofit.
- Bin, Guoshu & Parker, Paul**, 2012. "Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home – The REEP House," *Applied Energy*, Elsevier, vol. 93(C), pages 24-32.
- Wralsen, Benedikte & O'Born, Reyn & Skaar, Christofer**, 2018. Life Cycle Assessment of an Ambitious Renovation of a Norwegian Apartment Building to nZEB Standard. *Energy and Buildings*.
- Nydahl, Helena & Andersson, Staffan & Åstrand, Anders & Olofsson, Thomas**, 2019. Environmental Performance Measures to Assess Building Refurbishment from a Life Cycle Perspective. *Energies*.
- M^a. Desirée Alba-Rodríguez, Alejandro Martínez-Rocamora, Patricia González-Vallejo, Antonio Ferreira-Sánchez, Madelyn Marrero**, 2017. Building rehabilitation versus demolition and new construction : Economic and environmental assessment, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 66,
- Anne-Françoise Marique, Barbara Rossi**, 2018. Cradle-to-grave life-cycle assessment within the built environment: Comparison between the refurbishment and the complete reconstruction of an office building in Belgium, *Journal of Environmental Management*, Volume 224
- Tamar Opher, Mel Duhamel, I. Daniel Posen, Daman K. Panesar, Rashad Brugmann, Adrien Roy, Ryan Zizzo, Larissa Sequeira, Alireza Anvari, Heather L. MacLean**, 2021. Life cycle GHG assessment of a building restoration: Case study of a heritage industrial building in Toronto, Canada, *Journal of Cleaner Production*, Volume 279
- Rodríguez, M^a Desirée & Machete, Rita & Gomes, M. & Falcao, Ana & Marrero, Madelyn**. 2021. Holistic model for the assessment of restoration projects of heritage housing. Case studies in Lisbon. *Sustainable Cities and Society*.

Mehrdad Rabani, Habtamu Bayera Madessa, Malin Ljungström, Lene Aamodt, Sandra Løvvold, Natasa Nord, 2021. Life cycle analysis of GHG emissions from the building retrofitting: The case of a Norwegian office building, *Building and Environment*, Volume 204.

Tadeu, Sérgio Fernando & Rodrigues, Carla & Tadeu, Antonio & Freire, Fausto & Simões, N. 2015. Energy retrofit of historic buildings: Environmental assessment of cost-optimal solutions. *Journal of Building Engineering*.

Xiaoyu Luo, Mengyu Ren, Jiahong Zhao, Zitao Wang, Jian Ge, Weijun Gao, 2022, Life cycle assessment for carbon emission impact analysis for the renovation of old residential areas, *Journal of Cleaner Production*.



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN