

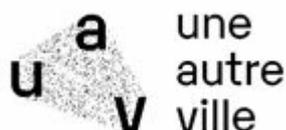
---

## ADEME

### Mission d'AMO dans le cadre de l'AMI quartiers E+C- Phase 2 – Capitalisation et outils – Fiches méthodes et outils

### Fiche Outils – Construction en matériaux bas carbone

---



Date	15/05/2022
Auteur et contact	Sophie Bousson - Marine Querné

## Table des matières

2   Contexte et enjeux .....	3
2.1   Définition.....	3
2.2   Enjeux.....	3
2.3   Réglementation .....	4
2.4   Certification et labels .....	4
3   Quelle démarche pour choisir des produits de constructions et équipements à faible émissions de CO <sub>2</sub> .....	4
3.1   Identifier les ressources de matériaux bas carbone.....	4
3.2   Exemple : Choix du mode constructif.....	5
4   Finalités et impacts sur le projet .....	5
4.1   Analyse du cycle de vie d'un bâtiment .....	5
4.2   Impact carbone de la phase construction d'un bâtiment.....	6
4.3   ACV Dynamique .....	7
4.4   Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires.....	8
5   Implications opérationnelles et réglementation.....	9
5.1   Des choix structurants très tôt dans le projet .....	9
5.2   Réglementation : I <sub>Cconstruction</sub> et I <sub>Cénergie</sub> .....	9
5.3   Approvisionnement à l'échelle urbaine.....	10
6   Points d'attention et limites .....	11
7   Focus sur le béton bas carbone.....	12
8   Sélection d'outils et d'acteur .....	13
8.1   Matériaux bas carbone .....	13
8.2   Modes constructifs et mise en œuvre .....	14

## 2 | Contexte et enjeux

### 2.1 | Définition

Il n'existe pas de définition univoque de ce que seraient des matériaux dits « bas carbone », cette notion étant construite en opposition aux matériaux dits « traditionnels » utilisés usuellement et issus d'industries qui concourent significativement aux émissions de gaz à effet de serre du secteur de la construction (par exemple : les ciments et bétons, les métaux comme l'acier et l'aluminium, les produits verriers, les produits issus de la pétrochimie comme le PVC et le polyuréthane...).

Cette notion de matériau « bas carbone » est donc plutôt à relier à l'ambition environnementale du projet.

Ainsi, les matériaux dits bas carbone désignent ceux permettant de minimiser le poids carbone des constructions. Nous pouvons citer de façon non exhaustive :

- Les matériaux réemployés qui maximisent la durée de vie de matériaux déjà produits et/ou mis en œuvre dans des constructions
- Les matériaux recyclés ou intégrant une part de matériaux recyclés qui limitent le recours à de nouvelles ressources
- Les matériaux biosourcés (issus de la biomasse) qui stockent naturellement du carbone
- Les matériaux géosourcés (issus de ressources d'origine minérale) qui requièrent peu ou pas de transformation de la matière première
- Le béton dit bas carbone affichant un bilan carbone moins lourd en comparaison à des solutions dites traditionnelles telles que le béton et la maçonnerie (diverses techniques d'obtention de ce béton bas carbone existent aujourd'hui sur le marché)

A noter que l'impact carbone d'un matériau ne dépend pas seulement de sa matière mais de l'ensemble des émissions durant son cycle de vie. Ainsi un matériau à priori vertueux pourra avoir un impact carbone fort du fait de sa distance d'approvisionnement par exemple.

L'impact carbone d'un matériau exprimé en kg éq.CO<sub>2</sub> représente l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre sur la totalité de son cycle de vie. Il est disponible dans la fiche de FDES (Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire) pour les matériaux et les PEP (Profils Environnementaux Produits) pour les équipements techniques.

### 2.2 | Enjeux

La prise en compte du poids carbone des matériaux et produits de construction dans les projets de bâtiments neufs ou rénovés et dans les opérations d'aménagement s'inscrit dans la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), dont l'ambition est d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

Le secteur du bâtiment et ses phases de construction, rénovation et déconstruction représente des postes importants d'émission de gaz à effet de serre.

Un choix éclairé des matériaux peut permettre d'améliorer cet impact carbone de façon très significative.

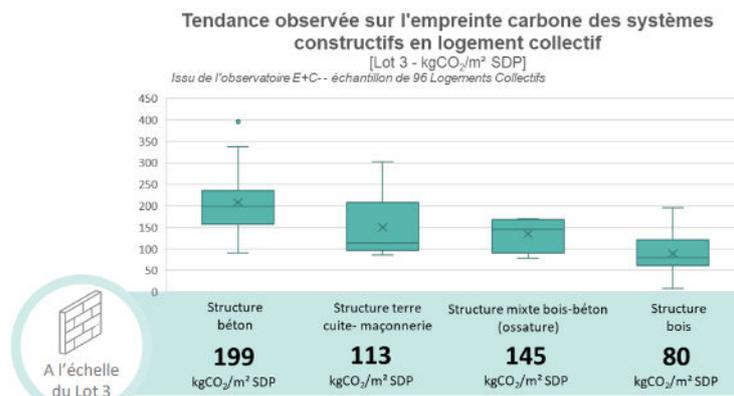


Figure 1: Empreinte carbone des modes constructifs en logement collectif – Source : Hub des Prescripteurs Bas Carbone

## 2.3 | Réglementation

Pour décliner cette stratégie nationale, l'expérimentation E+C- a été lancée fin 2016 afin de tester la comptabilisation du poids carbone des opérations de construction neuve de bâtiments et de préfigurer la future réglementation environnementale.

Avec la RE2020 entrée en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 2022 pour la construction de logements neufs, cette approche de comptabilisation devient réglementaire. Désormais toute opération de logements neufs devra rester en-deçà d'un niveau maximal d'émissions de CO<sub>2</sub> induites par les produits de construction et des équipements. Ce seuil est dégressif (seuils 2025, 2028, 2031).

La réglementation RE2020 introduit également un calcul dynamique afin de prendre en compte le stockage carbone, ce qui permet entre autres de favoriser les matériaux stockant du carbone tout au long de leur mise en œuvre, et notamment les matériaux biosourcés, issus de la matière organique.

## 2.4 | Certification et labels

Depuis 2016 le label BBCA permettait également de valoriser les projets ayant à cœur de limiter leur poids carbone à la fois en construction neuve et en rénovation.

D'autres labels existent comme le niveau C2 du label E+C- par exemple.

# 3 | Quelle démarche pour choisir des produits de constructions et équipements à faible émissions de CO<sub>2</sub>

## 3.1 | Identifier les ressources de matériaux bas carbone

De plus en plus de matériaux bas carbone sont disponibles sur les grandes plateformes d'approvisionnement.

Néanmoins, ce n'est pas encore le cas de tous les matériaux, ni des matériaux de réemploi ; et il est toujours intéressant d'explorer d'abord les ressources locales.

### *Matériaux à base d'éléments recyclés*

De nombreux producteurs intègrent d'ores et déjà du contenu recyclé. C'est le cas pour des matériaux tels que le bois, le PVC, le béton, les moquettes, les faux-planchers, verre, cellulose, peinture...

Les filières sont diversifiées et les acteurs variés tels que des structures, start-ups, entreprises, grands industriels, cimentiers... Avec la raréfaction des ressources le recyclage tend à se massifier.

Cependant, il est important de vérifier la part du contenu recyclé du produit choisi et de ne pas se fier uniquement aux messages de commercialisation. Enfin il est nécessaire d'établir le gain en termes de bilan carbone correspondant aux matériaux recyclés, lorsque les données existent.

### *Matériaux réemployés*

L'approvisionnement en matériaux issus du réemploi est pertinent lorsqu'il peut se réaliser à l'échelle locale. Dans le cadre d'une rénovation on privilégiera le réemploi in situ. Des plateformes physiques et numériques existent (voir la sélection d'outils ci-après).

L'utilisation de matériaux issus du réemploi n'étant pas industrialisée, des problématiques de disponibilité, de transport, de stockage et de logistique sont à anticiper. De même, la conception architecturale du projet doit s'adapter au gisement disponible.

Des AMO réemploi sont disponibles afin d'accompagner les projets souhaitant développer une stratégie de mise en œuvre d'éléments réemployés.

### *Matériaux biosourcés et géosourcés*

Les filières de matériaux biosourcés sont en cours de structuration. Tout comme les matériaux issus du réemploi, le critère local est à prendre en considération. Le critère de saisonnalité importe également pour certaines ressources (telle que la paille par exemple).

Les filières se structurent en associations de producteurs, fédérations, collectifs ...

## 3.2 | Exemple : Choix du mode constructif

Le choix du mode constructif est une étape importante dans la conception d'une construction bas carbone. Il représente une part importante des émissions et cumule de nombreuses contraintes techniques (mécaniques, thermiques, assurantielles, mise en œuvre, etc..).

Pour faire le choix éclairé d'un mode constructif bas carbone il est souhaitable d'identifier :

- Les contraintes du projet déterminantes dans le choix d'un mode constructif (climatiques, architecturale, d'usage et d'exploitation).
- Les matériaux disponibles localement y compris les gisements possibles de matériaux de réemploi
- Les modes constructifs bas carbone :
  - Déjà éprouvés localement (savoir-faire entreprise et adaptation aux contraintes climatiques) ;
  - Les alternatives mises en œuvre dans d'autres régions et envisageables sur notre projet ;

On réalisera ensuite une analyse multicritère en prenant en compte la réponse au contrainte du projet et le bilan carbone mais pas seulement afin d'identifier les implications de chaque mode constructif en considérant :

- Les propriétés thermiques, l'impact sur le confort d'été et l'impact sur la qualité de l'air intérieur ;
- Les contraintes de mise en œuvre (Complexité technique de mise en œuvre, risques, contexte assurantiel...)
- Les contraintes de délai (disponibilité des matériaux, des professionnels, saisonnalité...)
- Nécessité ou pas de réaliser des essais en amont pour valider une solution technique ;
- Dimension humaine (impact économique et social régional des filières de matériaux et main d'œuvre entreprise),

# 4 | Finalités et impacts sur le projet

## 4.1 | Analyse du cycle de vie d'un bâtiment

### *Analyse de cycle de vie*

Afin de comptabiliser les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'un projet, une analyse de cycle de vie est réalisée sur l'ensemble des produits de constructions et équipements constitutifs du projet. Il s'agit d'une méthode d'évaluation environnementale qui permet de quantifier les impacts d'un produit ou service sur l'ensemble de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son traitement en fin de vie, en passant par les étapes de mise en œuvre et de vie.

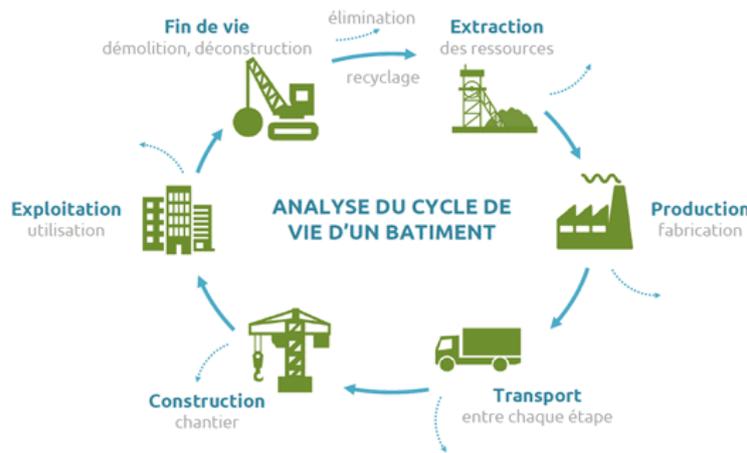


Figure 2: Etapes considérées dans l'analyse de cycle de vie du bâtiment – Source : IZUBA

Le choix des matériaux ne va pas seulement impacter la phase construction mais aussi les autres phases du cycle de vie du bâtiment :

Les émissions de la phase chantier pourront être fortement impactées par les contraintes de mise en œuvre des matériaux ;

Les émissions de la phase d'exploitation seront fortement impactées par les performances thermiques des matériaux ;

Les émissions de la phase de fin de vie pourront être impactées par la complexité à déconstruire tel ou tel mode constructif.

A noter que la phase de fin de vie du matériau en lui-même est déjà prise en compte dans ses émissions propres.

Notre objectif est d'optimiser les émissions carbonées du bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie.

## 4.2 | Impact carbone de la phase construction d'un bâtiment

L'évaluation carbone du projet de construction ou de rénovation sera décomposée en plusieurs lots :

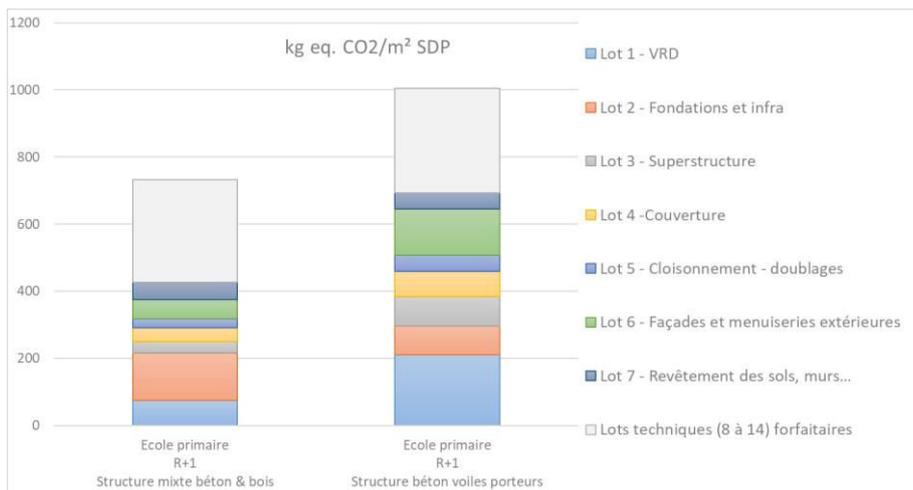


Figure 3 : ACV de deux écoles primaires réalisées en 2021 - Source : AMOES

On peut voir dans l'exemple ci-dessus que des bâtiments remplissant la même fonction pourront avoir un impact carbone différent, en particulier du fait de leurs modes constructifs. Les matériaux biosourcés ayant généralement un impact moindre.

Dans l'exemple ci-contre, on constate que deux bâtiments remplissant des fonctions proches et utilisant les mêmes modes constructifs peuvent également avoir des impacts carbone très différents. Du fait probablement des écarts de niveau de service, un niveau qualitatif élevé générant généralement un surplus de matière qui se traduira obligatoirement par des émissions de carbone supplémentaires.

La sobriété étant un des leviers vers des solutions bas carbone.

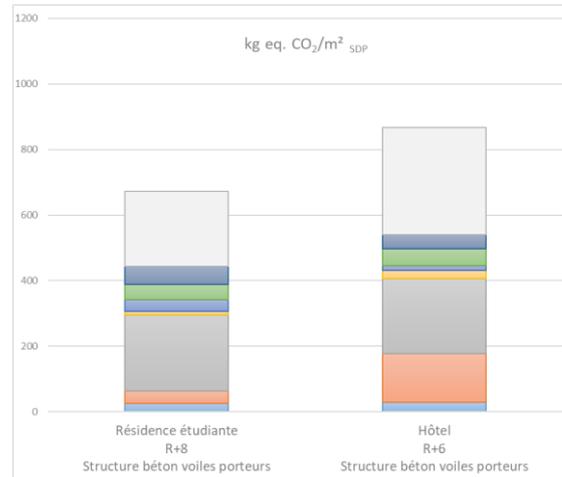


Figure 4 : ACV réalisées en 2021 - Source : AMOES

Il n'y a pas de solution unique à la construction bas carbone, il s'agit d'identifier le meilleur compromis entre les objectifs environnementaux et les contraintes du projet ; voir de remettre en cause certains attendus du projet et d'argumenter pour converger vers une solution plus vertueuse.

Une étape importante consistera à évaluer les contraintes déterminantes du projet (climatiques, architecturale, d'usage et d'exploitation, ...). Cela va permettre de fixer un cadre dans lequel les hypothèses de choix des matériaux devront permettre de rentrer.

### 4.3 | ACV Dynamique

Pour le calcul de l'impact sur le changement climatique, l'analyse du cycle de vie est déclinée selon deux approches, l'une qualifiée de statique et l'autre de dynamique. Les exigences réglementaires reposent sur l'approche dynamique.

L'approche dite dynamique prend en compte la temporalité des émissions et les effets du stockage de carbone.

En pratique, les émissions des gaz à effet de serre sont pondérées par un coefficient dont la valeur est dépendante de la date des émissions. Par exemple, une émission à l'année 0 sera affectée du coefficient 1 alors qu'une émission à la 50e année sera affectée du coefficient 0,58 (ou 0,88 s'il s'agit de fluides frigorigènes).

Données environnementales statiques		ACV dynamique : application des coeff. de pondération	
Étapes d'ACV	kg de CO <sub>2</sub> éq		kg de CO <sub>2</sub> éq
<b>Production</b>	- 600	année 0, coeff 1 x - 600	- 600
<b>Processus de construction</b>	30	année 0, coeff = 1 x 30	30
<b>Utilisation</b>	0	année 1 à 49, coeff = 0,984 à 0,587 x 0	0
<b>Fin de vie</b>	700	année 50, coeff 0,578 x 700	404,6
<b>Total cycle de vie</b>	130		-165,4

Figure 5 : Exemple fictif d'une poutre en bois - Source : Guide RE2020 DHUP et CEREMA

Une des caractéristiques des matériaux biosourcés, est de capter du CO<sub>2</sub> pendant leur croissance, le bilan carbone au début du cycle de vie est donc très favorable (émission négative dans l'exemple). Ce CO<sub>2</sub> capté est stocké dans le bâtiment pendant sa durée de vie puis est relargué en grande partie dans l'environnement en fin de vie du produit d'après les hypothèses des données environnementales.

### Valorisation des éléments recyclés

Lorsque le produit considéré contient de la matière recyclée, la FDES du produit intègre ce paramètre dans le module D de la FDES (module spécifique aux « Bénéfices et impacts du recyclage »).

Ce module affecte donc une valeur négative correspondant aux impacts évités liés au recyclage des matériaux.

### Valorisation des éléments réemployés

L'économie circulaire et notamment le réemploi sont aujourd'hui valorisés dans plusieurs certifications et labels, dont notamment les labels E+C- et BBCA :

- Label E+C- : les émissions carbone des matériaux de réemploi sont considérées comme nulles dans le calcul ;
- Label BBCA : les émissions carbone des matériaux de réemploi sont également considérées comme nulles dans le calcul. De plus, l'économie circulaire et le réemploi sont valorisés au travers des points « innovation climat » (1 point innovation est attribué tous les 5 kg/m<sup>2</sup>SDP de matériaux de réemploi introduits).

## 4.4 | Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires

Créées en 2004, les données environnementales des produits et équipements sont mises à disposition sur la base de données de référence INIES sous le format de Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires (FDES).

Une FDES est un document normalisé qui présente les résultats de l'Analyse de Cycle de Vie d'un produit ainsi que des informations sanitaires dans la perspective du calcul de la performance environnementale et sanitaire du bâtiment pour son éco-conception.

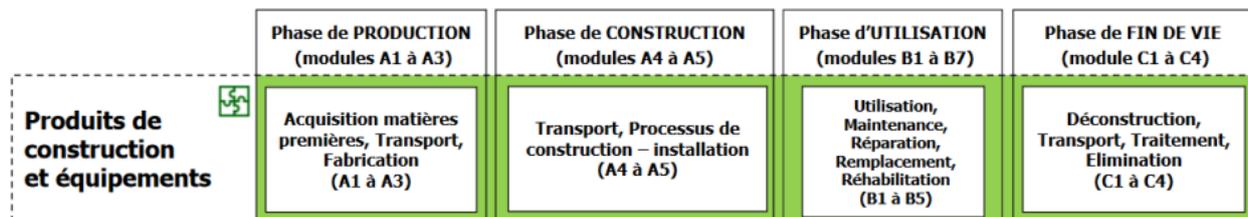


Figure 2: Phases comptabilisées dans l'analyse de cycle de vie des produits de construction et équipements – Source : ELODIE

Les FDES constituent ainsi un outil multicritère majeur permettant de rendre possible dans un moindre délai les ACV des projets de construction.

### Les types de FDES

Il existe plusieurs types de données utilisables pour la réalisation d'une analyse de cycle de vie des produits de construction du bâtiment :

- Les fiches individuelles qui concernent un produit ou une gamme de produits fabriqués par un industriel spécifique
- Les fiches collectives qui concernent un produit type fabriqué par plusieurs entreprises
- Les données par défaut (DED) présentes sur la base INIES, pénalisantes

Par ailleurs certaines FDES sont paramétrables par le biais des configurateurs suivants :

- Betie pour les ouvrages en béton coulé en place ;
- EIB pour les produits en béton préfabriqué ;
- Save construction pour les ouvrages en acier ;
- DE-Bois pour les ouvrages en bois ;
- aKacia pour les produits biosourcés

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2019, toute FDES entrant dans la base de données INIES doit être vérifiée par une tierce partie afin d'assurer une transparence et une traçabilité des données récoltées. L'organisme vérificateur doit être indépendant et reconnu par l'Etat.

Toutefois il convient de porter un regard critique sur les valeurs d'impact climatique proposées par chaque FDES et de choisir en sachant à quelle marge d'erreur on s'expose, en fonction du stade du projet et selon la précision des hypothèses dont on dispose.

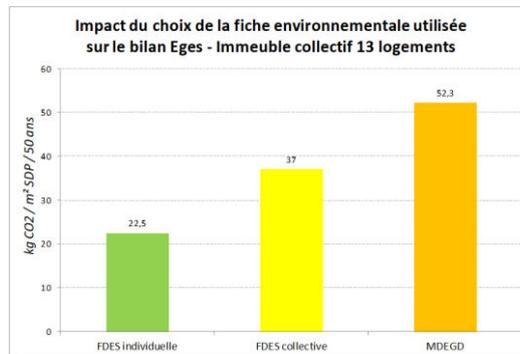


Figure 7: Exemple du choix de la fiche environnementale utilisée pour des fenêtres aluminium

## 5 | Implications opérationnelles et réglementation

### 5.1 | Des choix structurants très tôt dans le projet

#### Sensibilisation et sélection des équipes

Les matériaux et modes constructifs bas carbone sont en pleine évolution et souvent les solutions les plus ambitieuses d'un point de vue environnementale ne font pas partie des techniques courantes.

Il est fortement recommandé de sélectionner les membres de la maîtrise d'œuvre ayant des compétences et une volonté forte pour le développement du projet et notamment l'architecte. De plus, le rôle du contrôleur technique sera d'autant plus impactant sur un projet ayant pris le parti de mettre en œuvre des éléments réemployés, biosourcés ou géosourcés.

Enfin, il est bénéfique d'impliquer en amont son assureur dommage ouvrage et le consulter à chaque modification entraînant la mise en œuvre de techniques non courantes afin d'assurer la couverture de l'ouvrage.

#### Contraintes techniques

Les contraintes techniques usuellement identifiées sont devront être considérées le plus en amont possible (liste non exhaustive) :

- Réglementation incendie
- Objectifs acoustiques
- Spécificités hygrothermiques
- Dispositions anti nuisibles
- Contraintes de mise en œuvre
- Stockage et transport
- Disponibilité de la ressource et saisonnalité
- Assurabilité (règles professionnelles, avis technique, ATEX...)

### 5.2 | Réglementation : Ic<sub>construction</sub> et Ic<sub>énergie</sub>

Une première estimation de l'impact carbone du projet pourra être faite au stade du concours puis au stade du plan guide afin de valider les orientations du projet.

Une ACV du projet complète est nécessaire pour déposer le permis de construire (PC) : la réglementation exige de caractériser l'impact carbone du projet selon deux indicateurs et impose des valeurs seuil :  $I_{\text{construction}}$  et  $I_{\text{énergie}}$

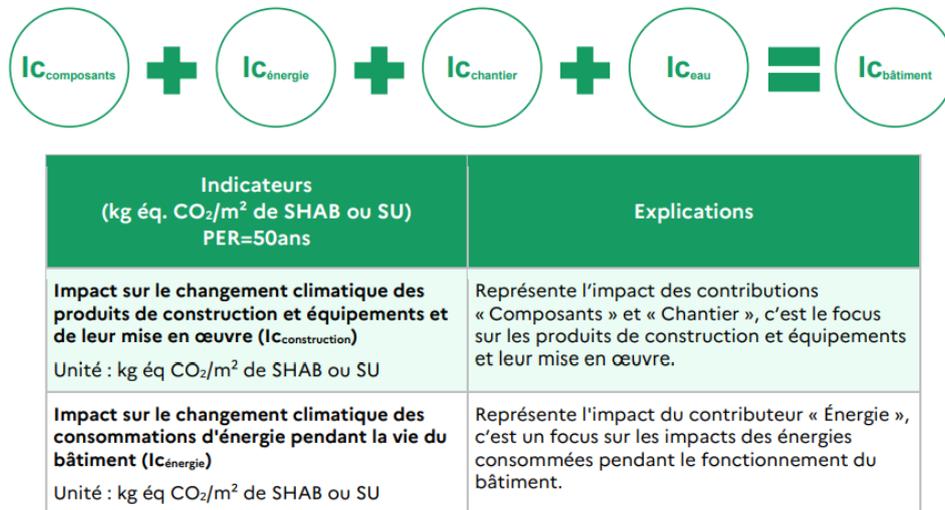


Figure 8: Extrait du Guide RE2020\_dphu-cerema.pdf

Les choix structurants permettant d'atteindre ces ambitions carbonées pourront être formalisés :

- dans une notice environnementale lorsqu'il s'agit d'un projet de bâtiment ;
- dans un cahier de prescriptions environnementales pour une opération d'aménagement.

### 5.3 | Approvisionnement à l'échelle urbaine

A l'échelle d'un quartier, la sélection des matériaux peut faire l'objet d'une stratégie de mutualisation, des connexions territoriales peuvent être identifiées et des partenariats à plus grande échelle établis. En cas de modelage du terrain, le réemploi in situ des terres peut être finement étudié et imposé aux différents lots. La construction en béton de site peut également être envisagée.

Dans le cadre d'une stratégie de réemploi :

- Si le projet prévoit des démolitions ou des réhabilitations, il peut être intéressant d'étudier le potentiel de réemploi des éléments déposés sur les lots restant à construire
- Le phasage global de l'opération peut s'adapter au gisement identifié
- Une plateforme de stockage peut être mise en place à l'échelle du quartier
- La mutualisation de la logistique peut permettre une simplification et une économie
- Les démarches et tests (incendie, résistance mécanique, assurabilité...) peuvent être mutualisés

Dans le cadre d'une stratégie d'approvisionnement en matériaux biosourcés :

- Une mutualisation des commandes de matériaux peut être envisagée afin de garantir des prix accessibles
- Des partenariats avec des fournisseurs locaux sont envisageables
- Le phasage de l'opération peut être cadencé selon la disponibilité et la saisonnalité de la ressource envisagée
- Les démarches de tests spécifiques (incendie, hygrométrie, assurabilité...) peuvent être mutualisés

## 6 | Points d'attention et limites

### Communication

Le contexte actuel valorise la mise en œuvre de matériaux dits bas carbone ou durable. Il est néanmoins nécessaire de vérifier le prétendu caractère bas carbone mis en avant, la réglementation n'ayant pas encore encadré certaines appellations.

Ainsi, certains matériaux étiquetés comme recyclés ne contiennent en réalité qu'une part infime de matériaux recyclés.

Pour les matériaux biosourcés il existe le label Produit Biosourcé depuis 2017 qui garantit une teneur minimale en biomasse des produits de construction (par exemple le seuil est défini à 70% pour les isolants et 25% pour les bétons végétaux).

### Critère local

Le choix de matériaux locaux est à privilégier, d'autant plus pour les matériaux issus du réemploi, biosourcés ou géosourcés non issus de filières industrialisées et ce afin de limiter l'impact carbone du transport et de participer au développement de l'économie locale.

Une étude a été menée sur les isolants et revêtements de sol afin de quantifier l'impact carbone de la distance entre le lieu de production et le chantier et a défini une distance « critique » à partir de laquelle le recours aux matériaux biosourcés devient contre-productif :

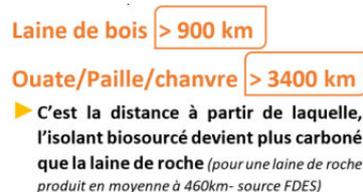


Figure 9: Distance critique

### Logistique et organisation

L'approvisionnement en matériaux issus du réemploi nécessite une organisation et une planification spécifique. Il est nécessaire de planifier en amont les opérations de diagnostic de réemploi, de dépose sélective, transport, conditionnement, stockage et enfin la rédaction de clauses de réemploi au programme de consultation.

L'approvisionnement en matériaux biosourcés doit être anticipée au regard de leur saisonnalité et de leur disponibilité selon les filières choisies.

La mise en œuvre de béton bas carbone doit également être planifiée en amont afin de fixer la saison de mise en œuvre optimale et de prendre en compte des temps de séchage éventuellement allongés.

### Stratégie de conception

La mise en œuvre de matériaux dits bas carbone dans un projet affichant un objectif de réduction des émissions carbone est primordial mais nous rappelons que la première stratégie à développer est celle de l'économie des ressources en :

- Préservant l'existant (réutilisation de structure existante, limitation des démolition, facilitation de la rénovation, du réemploi et de l'économie circulaire)
- Anticipant la réversibilité des bâtiments
- Maximisant la durée de vie des matériaux mis en œuvre (démontabilité)
- Activant les leviers architecturaux (design sobre, essentialisation de la matière, augmentation de la compacité, optimisation de la géométrie)
- Activant les leviers techniques (classe de résistance augmentées, structures légères, mixité des matériaux, recours aux bétons précontraints, surdimensionnements évités)
- Optimisant la matière en exécution (dimensionnements affinés, gestion des réservations, réduction des déchets à la source, préfabrication privilégiée)

## 7 | Focus sur le béton bas carbone

### Contexte

Pérenne, mécaniquement résistant, polymorphe, inertie thermique élevée, isolation phonique font partie des atouts ayant permis au béton de devenir un matériau de construction incontournable depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle. Ainsi, en France, 82% des logements collectifs et 74% des bâtiments tertiaires sont construits en béton.

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, granulats et adjuvants.

Le ciment, comptant pour environ 12% du béton, est composé de clinker et de produits d'addition.

Pour un logement collectif typique (R+4) en structure béton, le béton représente environ 30% de l'empreinte carbone PCE du bâtiment.

### Béton bas carbone

Il n'existe pas de définition normée d'un béton dit bas carbone.

L'intensité carbone moyenne du béton est d'environ 210 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>.

D'après le Hub des prescripteurs bas carbone, un béton conforme à une stratégie SNBC avec un millésime 2030 pourrait afficher une intensité carbone de l'ordre de 135 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>.

La Commission Européenne a développé une « taxonomie verte » :

Taxonomie Européenne	CLINKER « vert »	< 766 kgCO <sub>2</sub> e/t
	Ciment « vert »	< 498 kgCO <sub>2</sub> e/t

Figure 11: Taxonomie verte selon la Commission Européenne

Le poids carbone du ciment est principalement dû au clinker (à hauteur de 94% du CO<sub>2</sub> émis par le béton) en raison de la cuisson du clinker via des combustibles fossiles (responsable d'un tiers des émissions de GES) et de la décarbonatation du calcaire lors de la cuisson (responsable des deux tiers restants). Cependant, au cours de sa vie en œuvre, une réaction chimique de recarbonatation du calcaire a lieu permettant de capter environ 15% du CO<sub>2</sub> initialement émis pour la production du clinker.

Plusieurs méthodes de comptabilisation des émissions existent, on parle de méthodes d'allocation du carbone : séparation du processus, extension du système, allocation massique, ou allocation économique.

Les laitiers des hauts fourneaux sont utilisés pour remplacer une partie du clinker dans les ciments de type CEM II, III et V. Ils sont produits dans les hauts fourneaux en même temps que l'acier.

A noter que les laitiers connaissent une disponibilité limitée à l'échelle nationale comme mondiale. Les estimations indiquent qu'en 2030 si tout le laitier est utilisé pour du ciment CEM III, celui-ci ne pourra représenter qu'environ 20% de la production totale de ciment en Europe.

De nouvelles formulations sont éprouvées mais restreintes à l'usage tels que les ciments métakaolins ou à l'étude comme des bétons alternatifs enrichis en CO<sub>2</sub>, à base de calcaire micronisé, avec des granulats recyclés, en structure alvéolaire à variation de densité, ou encore des bétons allégés en carbone.

L'incorporation de ciment alternatif au béton est limitée par le cadre normatif.

Le temps de séchage des bétons bas carbone est rallongé par rapport au béton classique. La saisonnalité et les températures extérieures seront à prendre en considération.

### Synthèse du Hub des prescripteurs bas carbone

Les initiatives actuelles sont insuffisantes pour répondre aux objectifs de la SNBC en termes d'intensité carbone. Il est donc nécessaire de la mise en œuvre de béton quand cela est possible en activant l'ensemble des leviers (préservation de l'existant, l'anticipation de la réversibilité, conception sobre et frugale, optimisation de la matière ...).

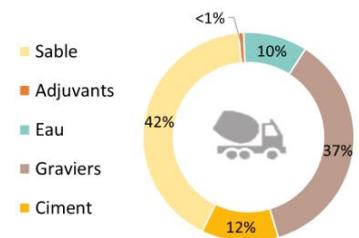


Figure 10: Composition massique d'un béton  
Source : Publication du Hub des prescripteurs bas carbone

## 8 | Sélection d'outils et d'acteur

### 8.1 | Matériaux bas carbone

#### *Matériaux issus du réemploi*

De nombreux AMO se sont spécialisés en réemploi afin de faciliter la mise en place de ce type de démarche. Les plateformes physiques et numériques d'achat/revente de matériaux de réemploi se multiplient.

Certains fournisseurs de matériaux neufs s'engagent également dans la collecte et revente de leur gamme de produit en réemploi. Par exemple des fournisseurs de pierre de taille.

Plusieurs initiatives en France et en Europe sont répertoriées dans la base d'Opalis. <https://opalis.eu/fr>

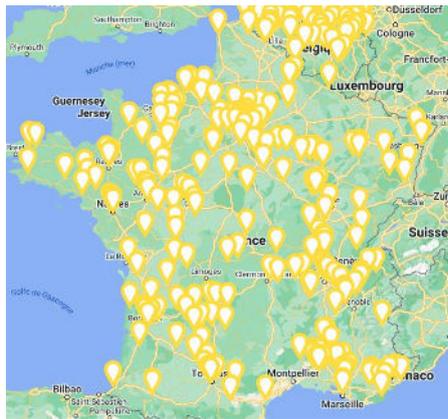


Figure 12: Aperçu de l'atlas des fournisseurs professionnels de réemploi d'Opalis

Néanmoins d'autres sources plus ponctuelles peuvent exister. De multiples gisements de matériaux de réemploi existent qui ne sont pas exploités faute de filière ou de client identifiés. Il sera toujours intéressant de faire connaître son projet notamment aux acteurs susceptibles de gérer ou connaître un patrimoine pouvant être gisement de matériaux (collectivités, bailleurs sociaux, promoteurs, etc..)

#### *Matériaux biosourcés et géosourcés*

Les acteurs des matériaux biosourcés et géosourcés sont souvent regroupés en associations : Réseau Français de la Construction Paille, Association des Chanvriers en Circuits Courts, Construire en Chanvre, Union des Industriels et Constructeurs Bois, Fédération Nationale du Bois, CRAterre...

Ekopolis a édité une carte référençant plus de 250 acteurs du biosourcé en France : [https://www.ekopolis.fr/search-map-view?altlist=acteur&atlas=&eco\\_materiaux=3290](https://www.ekopolis.fr/search-map-view?altlist=acteur&atlas=&eco_materiaux=3290)



Figure 13: Aperçu de l'atlas des matériaux biosourcés et géosourcés d'Ekopolis

## 8.2 | Modes constructifs et mise en œuvre

### Techniques courantes et assurabilité

Les assureurs font une distinction entre les travaux considérés comme techniques courantes qui seront normalement garantis, et les travaux qui ne relèvent pas de techniques courantes pour laquelle la prime d'assurance sera adaptée à l'évaluation du risque encouru.

Sont considérées techniques courantes les travaux décrits par :

- Les travaux décrits par les normes DTU ;
- Les travaux décrits par les recommandations professionnelles RAGE ;
- Les travaux relevant des règles professionnelles acceptées par la Commission Prévention produit (C2P) ;
- Les procédés visés par un Avis Technique (ATec) ou un Document Technique d'Application (DTA) qui ne sont pas mis en observation par la C2P ;
- Les procédés visés par une Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEX). On distinguera deux types d'ATEX :
  - o ATEX de type A : vise un produit ou un procédé appliqué sur différents chantiers pendant une durée limitée déterminée.
  - o ATEX de type B : concerne un projet de réalisation identifié, c'est-à-dire l'application d'une technique constructive sur un chantier précis à réaliser.

Les règles professionnelles RAGE sont consultables sur le site du programme d'Action pour la qualité de la Construction et de la Transition Energétique : <https://www.programmepacte.fr/catalogue>

Les documents tels que ATec, DTA et ATEX de type A sont disponibles gratuitement sur le site du CSTB. <https://evaluation.cstb.fr/fr/rechercher/>

Une documentation très riche sur les risques et dommages rencontrés dans le secteur du bâtiment est en accès libre sur le site de l'Agence Qualité Construction : <https://qualiteconstruction.com/nos-ressources/>

### Associations régionales et centres de ressources

De nombreuses associations partagent de l'information concernant des projets innovants ou remarquables qui peuvent être source d'inspiration :

- Ekopolis
- Envirobot Occitanie / Grand Est / Méditerranée / Centre
- Nobatek
- Le OFF du développement durable
- Démarche Bâtiments Durables en Nouvelle-Aquitaine.
- 

### Guides

- *"Comment mieux déconstruire et valoriser les déchets du BTP ?"* – Association ORÉE
- *3 fiches « Réemploi et réutilisation des matériaux issus de la déconstruction »* – Envirobot Grand Est
- *Brief filière béton, IFPEB et Carbone 4*
- *Brief filière biosourcée, IFPEB et Carbone 4*
- *Guide RAGE « Systèmes constructifs à ossature bois »*
- *Guide Envirobot BDM Béton bas carbone*
- *Guide de conduite d'une opération à faible impact carbone, CEREMA*
- *Construire bas carbone, le guide à l'usage des décideurs du bâtiment, Association BBKA*
- *Plusieurs guides techniques concernant la mise en œuvre du bois sur le site du FCBA*
- *Plusieurs guides concernant la mise en œuvre de la terre crue sur les sites AsTerre, CRAterre, CycleTerre*
- *Les règles professionnelles de la construction paille sont disponibles sur commande ;*
- *Les règles professionnelles de la construction chanvre sont disponibles sur commande ;*