



© 2020 a caixa negra

Béton : objectif zéro carbone

La filière minérale engagée pour une construction durable

LIVRE BLANC

**20
24**

**BUILD &
CONNECT**
INNOVATION FOR BUILDINGS & TERRITORIES

“

Le béton est le marbre de notre siècle

”

aime à dire le célèbre architecte Tadao Ando,
 toujours attentif à en obtenir un aspect particulièrement soyeux, jouant avec la lumière.

COMITÉ DE PILOTAGE

UNICEM Grand Est
 FFB Grand Est
 SNBPE
 BUILD & CONNECT

CONTRIBUTEURS

CIMBETON – CSTB – ÉCOMINÉRO – EIFFAGE – EQIOM
 KS GROUPE – OTELIO – SNBPE – UMGO – UNSFA



Avec la collaboration de R2M Solution SAS



Illustration de couverture : Tower of shadows, Chandigarh, India – Le Corbusier, 1952

Table des matières

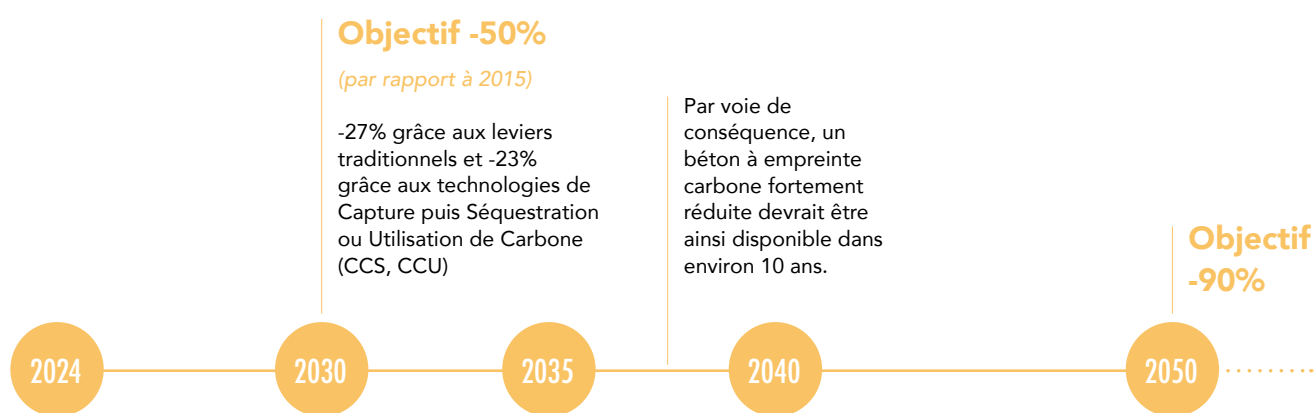
Préface	4
1. Éco-construction, état de l'art	5
1.1 Empreinte carbone : définitions	5
1.2 Construction éco-responsable	6
2. Le béton, matériau à empreinte carbone réduite	9
2.1 Le béton en transition	9
2.2 Éco-conception en béton	15
2.2.1 Utilisation des bonnes données environnementales	15
2.2.2 Utilisation de la bonne formulation de béton	16
2.2.3 L'éco-conception au niveau du bâtiment	17
2.3 Le chef de chantier, acteur clé de la décarbonation	19
2.4 Contributions du recyclage	19
2.5 Bâtiments de référence - Constructions béton	21
2.5.1 Réalisations inspirantes à base de béton « bas carbone »	21
2.5.2 Constructions à base de matériaux recyclés	23
3. Le béton, vers la neutralité carbone en 2035	25
3.1 Clés de la transformation du gros-oeuvre	25
3.1.1 Adoption des nouvelles gammes par les acteurs de l'aval	25
3.1.2 Evolution des réglementations et de l'assurabilité	26
3.2. Innovations technologiques	28
3.2.1 Séquestration et utilisation du CO ₂	29
3.2.2 Les innovations du béton	30
4. Perspectives et appel à l'action	33
4.1 Perspectives	33
4.2 Appel à l'action	35
Base documentaire	36

Préface

Dans un contexte européen dynamisant les efforts de décarbonation des activités industrielles via le Green Deal (2019) et la Taxonomie verte (2020), **la filière minérale française est résolument engagée** dans une trajectoire de décarbonation de ses produits (ciments, bétons).

Dès les années 2000, le **Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE)** a montré une volonté de transparence sur les impacts environnementaux de ces produits, réalisant les premières Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).

La décarbonation de la chaîne de valeur de la construction est un objectif complexe qui demande une **collaboration étroite de tous ses acteurs** pour atteindre les objectifs environnementaux ambitieux fixés. L'industrie cimentière vise une réduction des émissions de CO₂ de la façon suivante :



En France, la RE2020 (Réglementation Environnementale pour la construction neuve) fixe un cadre nouveau et définit le concept de construction éco-responsable. Grâce à des efforts incrémentaux soutenus et en misant sur l'innovation en termes de produits et de mise en œuvre, la filière minérale souhaite faire connaître la trajectoire qui la mènera à la neutralité carbone.

Les acteurs clefs de la filière minérale en région Grand Est proposent ce livre blanc destiné aux Maîtres d'Ouvrages, aux architectes, ingénieurs et AMO, afin de rappeler la pertinence d'un matériau de construction - le béton - et leur résolution à réduire drastiquement la part d'émission de GES en France, tout en y préservant les emplois et la compétitivité. Cette publication renseigne le lecteur sur **les gammes de ciments et bétons « bas carbone » disponibles et à venir**. Elle met également en lumière les outils qui permettent de concevoir dès aujourd'hui une **construction à base de béton à faible voire ultra faible empreinte carbone** et évoque les innovations techniques en cours de maturation qui permettront au secteur de tenir ses engagements de décarbonation massive du bâtiment.

Ce livre blanc souhaite inspirer une dynamique collective visant à accélérer la construction éco-responsable avec le béton, dans sa forme bas-carbone.

1. ÉCO-CONSTRUCTION, ÉTAT DE L'ART



En France, le secteur du bâtiment, deuxième secteur d'émissions de GES après les transports, émet 123 millions de tonnes de CO₂ par an.

Enjeu prioritaire pour l'Union européenne depuis **2009**, la directive **EPBD** (directive sur la performance énergétique des bâtiments) a instauré, dès **2010**, une norme de performance énergétique « **nZEB** » (bâtiment à énergie quasi nulle) pour tous les nouveaux bâtiments à partir de **2019**, imposant à la totalité des États membres de légiférer en ce sens avant juillet **2012**, selon un calendrier précis.

Révisée en **2018** pour prendre en compte plus largement l'ensemble des contributeurs à l'empreinte carbone du bâtiment, cette directive européenne s'est traduite, en France, par l'émergence de **la réglementation environnementale 2020 dite RE2020**. La récente révision de **2024**, qui élargit encore le périmètre du bâtiment éco-responsable, devra être prise en compte par les groupes de travail de l'initiative **CAP 2030** qui préparent l'après RE2020.

1.1 Empreinte carbone : définitions

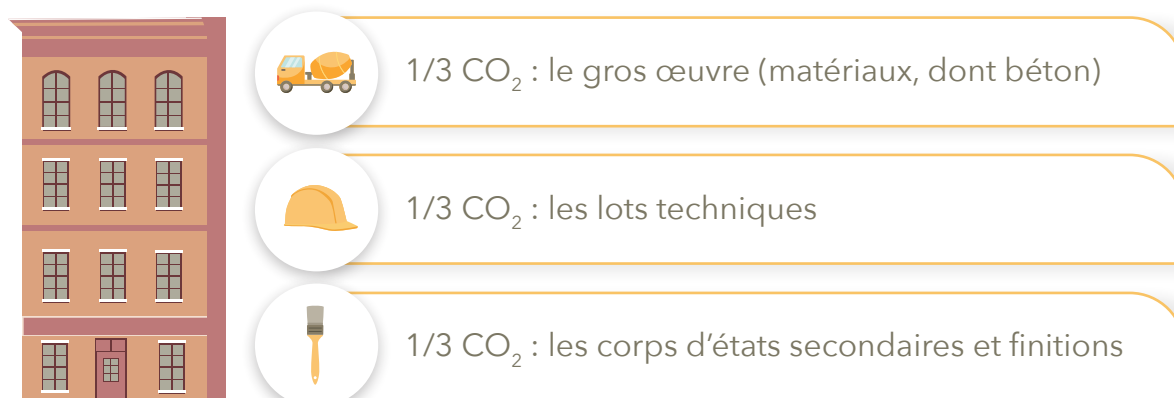
L'empreinte carbone représente la quantité totale de gaz à effet de serre (GES) émis directement ou indirectement par une personne, une organisation, un événement, un produit ou un service sur une période donnée. Elle est généralement exprimée en kilogrammes d'équivalent dioxyde de carbone (kg CO₂éq), une unité qui permet de normaliser les différentes émissions en fonction de leur potentiel de réchauffement climatique.

Les producteurs de matériaux de construction sont confrontés au défi de réduire leurs émissions de GES directes et indirectes en agissant sur les 6 catégories d'émissions suivantes (anciennement Scope I, II et III) :

- **Catégorie 1** : les émissions directes de GES liées aux combustions (fours de cimenterie)
- **Catégorie 2** : les émissions liées à la consommation de l'énergie achetée pour faire fonctionner leur activité
- **Catégorie 3** : les émissions indirectes associées aux transports amonts (acheminement des matières premières, personnels) et aval (transport vers chantier)
- **Catégorie 4** : les émissions indirectes liées aux produits (achat, gestions des déchets...)
- **Catégorie 5** : les émissions indirectes associées (utilisation des produits, fin de vie...)
- **Catégorie 6** : les autres émissions indirectes

En 2016, **l’empreinte carbone du secteur du bâtiment français** représentait 146 Mt CO₂ éq / an, incluant l’extraction de matières premières, la fabrication et fin de vie des produits de construction et les équipements pour les travaux de construction et rénovation.

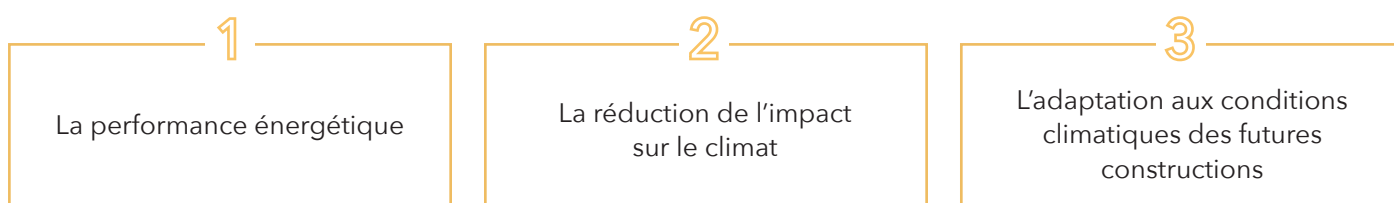
Dans le cas d’un bâtiment résidentiel collectif classique, sur l’ensemble de son cycle de vie, le bilan CO₂ total se répartit ainsi :



Lors de la conception d’un bâtiment, **la part du béton dans l’empreinte carbone du projet de construction** est évaluée à partir des déclarations environnementales établies sous la responsabilité des fabricants ou syndicats professionnels sous forme de **Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire**. Ces **FDES** sont valables 5 ans, établies selon la norme européenne EN 15804+A2 et déterminent l’empreinte carbone d’un produit en se basant sur les résultats de l’Analyse de son Cycle de Vie (ACV).

1.2 Construction éco-responsable

Aujourd’hui, construire éco-responsable dépasse largement la seule maîtrise des émissions des GES liées aux activités de construction. Trois objectifs principaux illustrent le concept d’éco-responsabilité :



INDICATEURS

Les indicateurs cadres de la construction neuve permettent de quantifier les performances de cette approche holistique de l’éco-responsabilité, ceux du référentiel européen “Level(s)” se reflètent dans la réglementation française RE 2020.

La **dernière génération d’indicateurs** quantifie les impacts environnementaux, en particulier les émissions de GES tout au long du cycle de vie d’un bâtiment. Elle encourage le recours à des matériaux à faible impact carbone, l’optimisation des processus de construction pour une utilisation efficace des ressources naturelles (minérales, biosourcées, eau...) ainsi que toutes pratiques augmentant la résilience aux changements climatiques, assurant des espaces sains et confortables aux occupants.

La **RE2020** place la France à l'avant-garde européenne et mondiale, fixant une obligation de résultat quant à la limitation des émissions de GES tant en phase construction (indicateur **IC Construction**) qu'en phase usage (indicateur **IC Énergie**).

L'**indicateur IC Construction** évalue les émissions de GES des produits de construction en prenant en compte l'impact des contributions 'Composants' et 'Chantier'. Les données environnementales sont collectées via les FDES rassemblées dans la base INIES. BETie, l'outil de configuration dédié au béton prêt à l'emploi, permet de caractériser les émissions correspondants spécifiquement à un chantier ou une partie d'ouvrage, et ainsi d'éviter l'emploi de valeurs par défaut qui peuvent être pénalisantes.

RE2020 - EFFORT DE DECARBONATION INCREMENTAL

Les exigences de la RE2020 sont progressives, avec des seuils d'émissions carbone de plus en plus contraignants de 2022 à 2031 (*Figure 1*). Ces seuils s'appliquent pour le moment aux maisons individuelles et logements collectifs ainsi qu'aux bureaux et établissements scolaires primaires et secondaires. Les valeurs visibles sur le graphique sont les seuils applicables, non modulés en fonction de certaines caractéristiques telles que la surface habitable ou encore la localisation géographique de la construction.

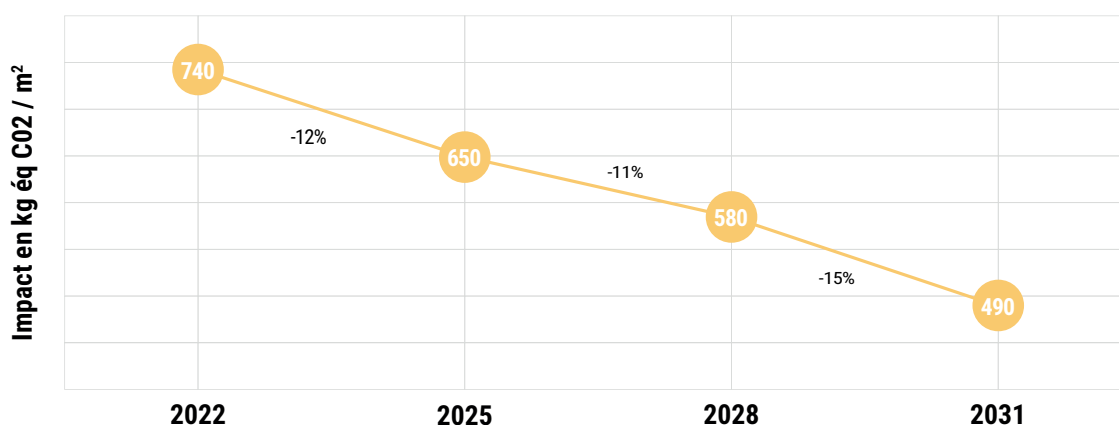


Figure 1 : Seuils et date de la RE2020 s'appliquant aux logements collectifs

SEUIL 2025

Pour satisfaire les seuils fixés pour 2025, le renforcement de l'isolation thermique et la suppression du recours aux énergies fossiles pour le chauffage sont les premiers leviers à mobiliser.

SEUIL 2028 ET 2031

Pour atteindre les paliers de 2028 et 2031 de la RE2020, les concepteurs du bâtiment devront agir à la fois sur les trois points suivants :

- les systèmes constructifs,
- le gros œuvre mais aussi les lots techniques et le second œuvre,
- le recours aux matériaux les plus efficaces possibles.

Le succès des efforts pour décarboner le gros œuvre repose sur **la capacité des acteurs à décroiser les filières** (ciment, béton, maîtrise d'ouvrage, aide à la maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre) afin d'intégrer les contingences de tous les acteurs dans l'optimisation des prescriptions.

VRAI OU FAUX ?

“ Le béton est un matériau de construction sans équivalent. ”

VRAI : Le béton est le seul matériau disponible partout en quantité suffisante, aisé à mettre en œuvre et qui permet de répondre aux enjeux de la construction durable à un niveau économique acceptable. C'est, de tous les matériaux, celui qui résiste le mieux aux intempéries, aux pollutions, aux chocs, aux dégradations biologiques et aux incendies, tout en participant à un environnement sain et confortable pour les occupants.



2. LE BÉTON, MATÉRIAU À EMPREINTE CARBONE RÉDUITE

Célébré par les architectes et les ingénieurs pour ses hautes performances techniques (solidité, résistance, longévité...) et architecturales (plasticité, liberté de conception spatiale, esthétique de la matière brute...), le béton souffre pourtant d'un déficit d'image et de crédit au plan environnemental, exacerbé par un engouement pour les matériaux biosourcés.

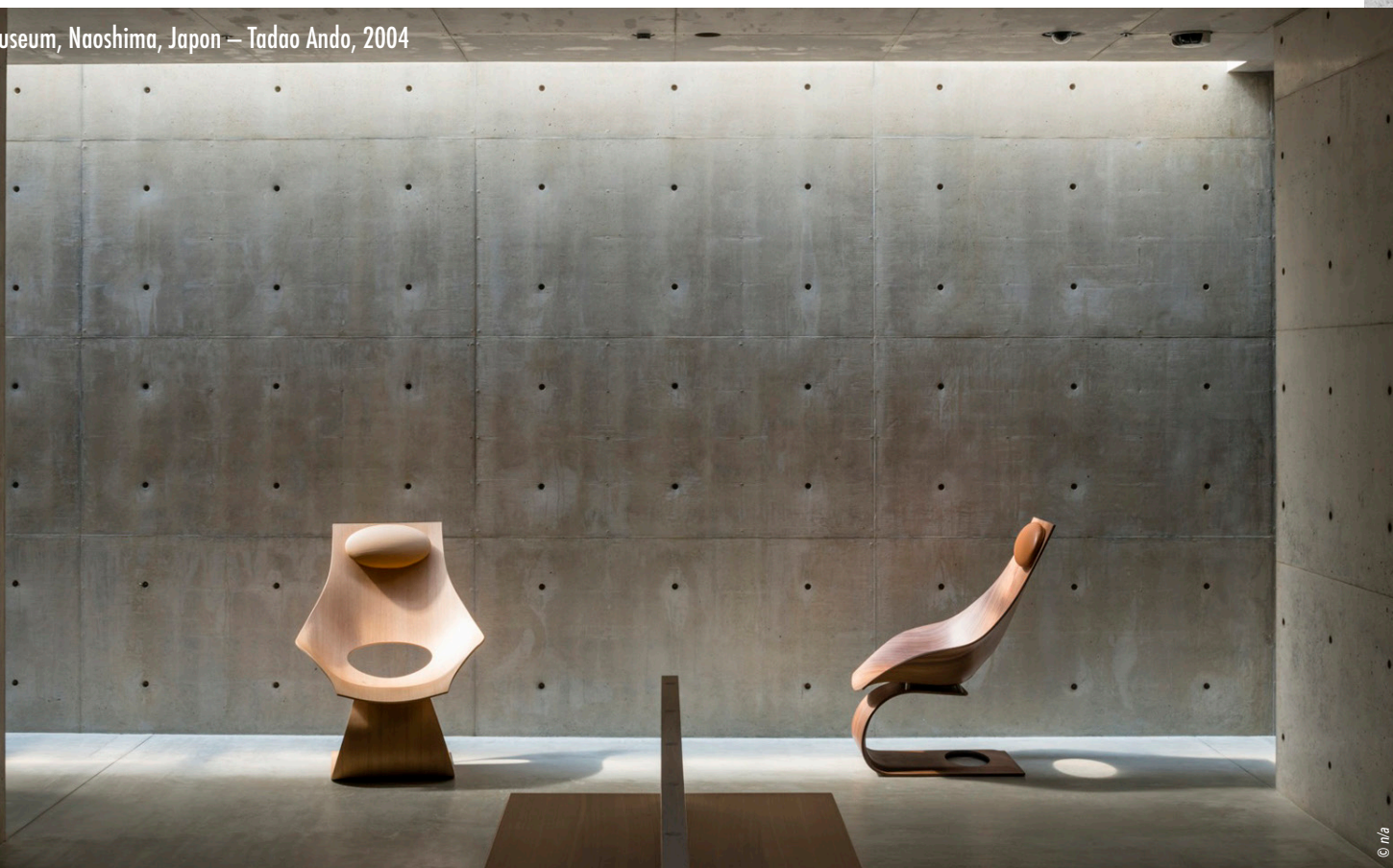
2.1 Le béton en transition

Le béton est un matériau de construction formé par mélange de **ciment** (historiquement fabriqué à base de calcaire et d'argile), de sable, de gravillons, d'eau, d'adjuvants et d'additions diverses.

Le béton voit ses propriétés se développer au cours du **phénomène de séchage** et de son **durcissement ultérieur**.



Chichu Art Museum, Naoshima, Japon – Tadao Ando, 2004



CIMENT - PLAN DE TRANSITION SECTORIEL

Le "Plan de transition sectoriel de l'industrie cimentière en France", document clé édité par l'ADEME en 2021, permet de concrétiser les objectifs de la stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) à travers une démarche de co-construction avec les acteurs de la filière. Ce plan **accompagne les acteurs du secteur vers l'objectif de décarbonation de -81% des émissions de GES de l'industrie en 2050 par rapport à 2015**. Il propose une approche globale, considérant les aspects marchés, coûts, financement et emplois du secteur.

Le mémo d'analyse des enjeux de décarbonation du secteur, associé au plan de transition sectoriel (2021), rappelle quelques chiffres de la production de ciment en France. Les connaître permet de corriger des a priori négatifs sur les responsabilités de la filière dans les émissions industrielles françaises :

5

La production se concentre sur 5 grands producteurs

25

25 sites de production implantés en milieu rural ou périurbain

12 %

La production représente 12% des GES de l'industrie

2 %

La production représente 2% des émissions de GES françaises

4 %

La production représente 4% de l'énergie thermique consommée par l'industrie en France

2 %

La production représente 2% de l'énergie électrique consommée par l'industrie en France

10 MtCO₂e/an

Elle produit 110 MtCO₂éq/an, 1/3 provenant du combustible et 2/3 du processus chimique de calcination du calcaire



Chapelle Notre Dame du Haut, Ronchamp, France – Le Corbusier, 1955

© Dieter Reimprecht

Comment se répartit l’empreinte carbone du béton armé ? Ce schéma d’*Infociments* illustre les poids relatifs des différents composants et étapes d’utilisation du matériau béton armé (Figure 2). Il permet de comprendre l’importance de la décarbonation du ciment pour décarboner le béton.

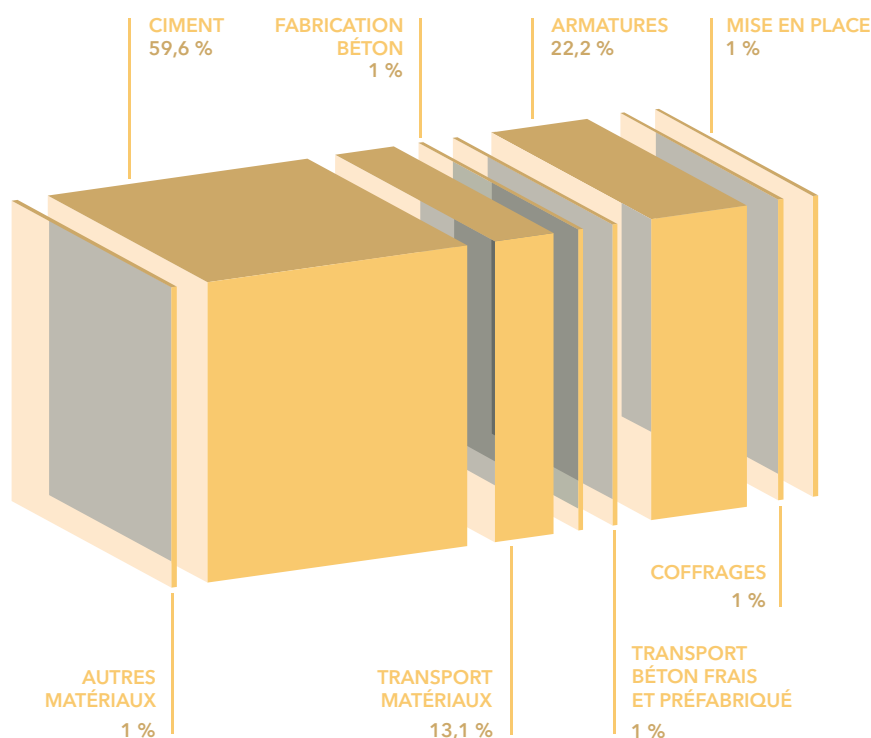


Figure 2 : Empreinte carbone du béton armé mis en œuvre (Infociment, 2022)

En France, les chiffres officiels montrent que les efforts entrepris par les producteurs de ciment pour décarboner la filière depuis les années 1990 agissent efficacement sur les émissions de carbone émanant de leurs activités (Figure 3).

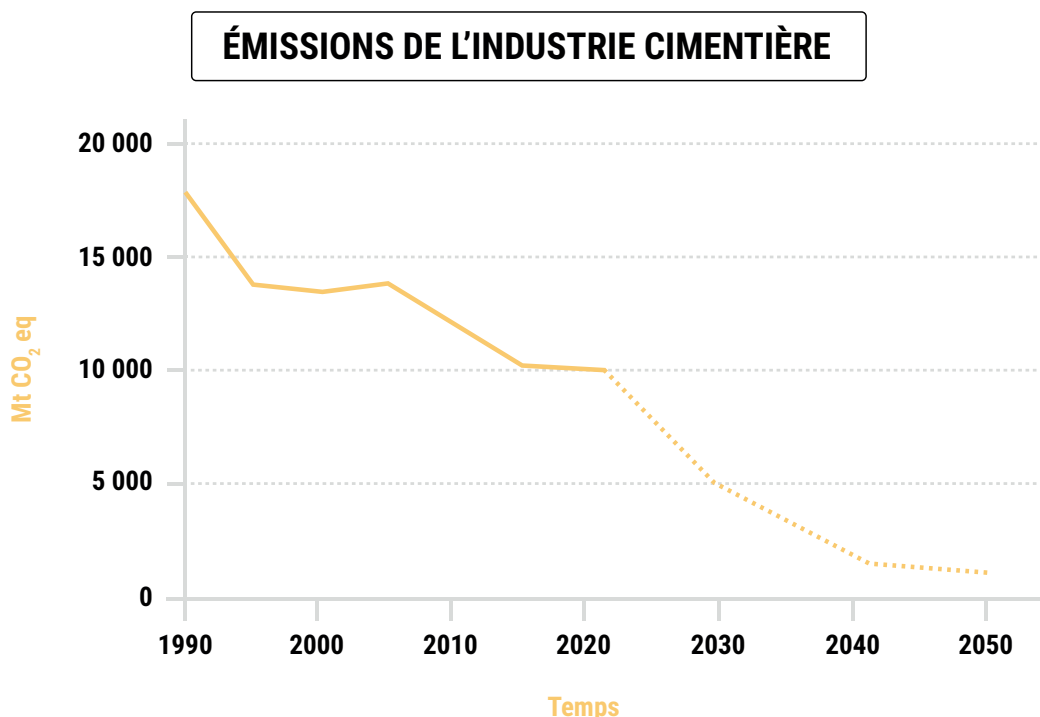


Figure 3 : Trajectoire des émissions de l’industrie cimentière depuis 1990 (Infociment, 2023)

Pour décarboner la production de ciment, le secteur a déjà commencé à agir sur 4 principaux leviers (Figure 4) :

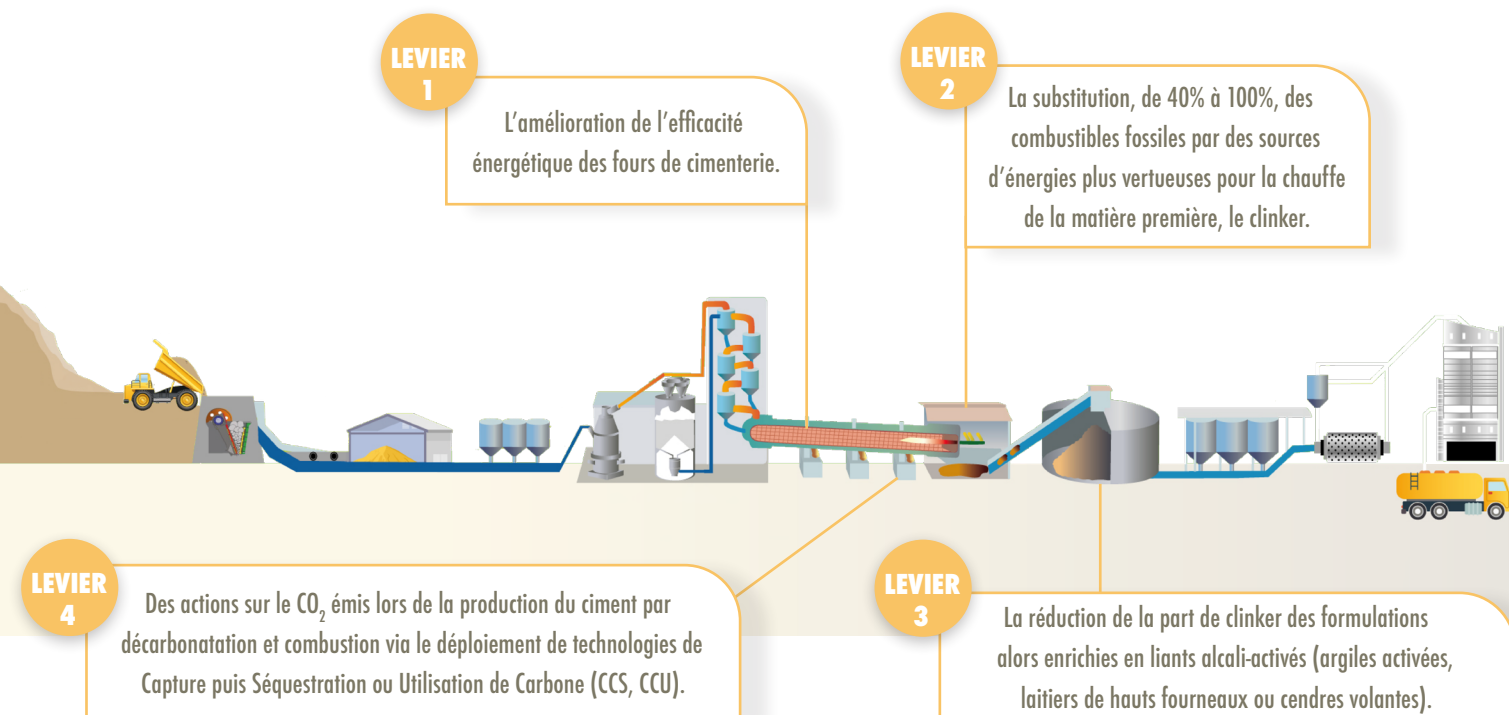


Figure 4 : Leviers de décarbonation de la production de ciment

Les ciments « bas carbone » développés voient substituée une partie de leur composition en clinker par des cendres pouzzolaniques ou d'autres matériaux, ces formulations voient leur bilan en CO₂ réduit par rapport au ciment classique. Les investissements massifs, initiés et restant à engager, permettront d'atteindre, à production équivalente, un niveau d'émission à **2 Mt CO₂ éq/an en 2050, contre 10 actuellement**.

BÉTON - RÉDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE

Pour sa part, **la filière béton**, elle aussi contribue efficacement à la décarbonation du produit, mettant des bétons à empreinte carbone réduite à disposition des architectes et maîtres d'ouvrage.

Le SNPBE rappelle qu'il n'y a pas de définition européenne ou française du béton « **bas carbone** » (**à empreinte réduite en carbone**) s'appuyant sur un cadre normatif ou réglementaire. Entrée dans le vocabulaire professionnel, cette appellation correspond à des bétons qui, à propriétés, performances, qualités d'usage et durabilité équivalentes, affichent **à partir de 20% de réduction d'empreinte carbone par rapport à un béton de référence (à base de CEM I)**. Le SNPBE propose des seuils définissant des bétons « bas carbone », tous conformes à la norme NF EN 206/CN, et pour des parties d'ouvrage représentatifs, en fonction des classes d'exposition et de la classe de résistance du béton.

Pour des matériaux classiques, les dernières valeurs établies fin 2022 (selon la norme NF EN 15804+A1) aboutissent aux valeurs suivantes :

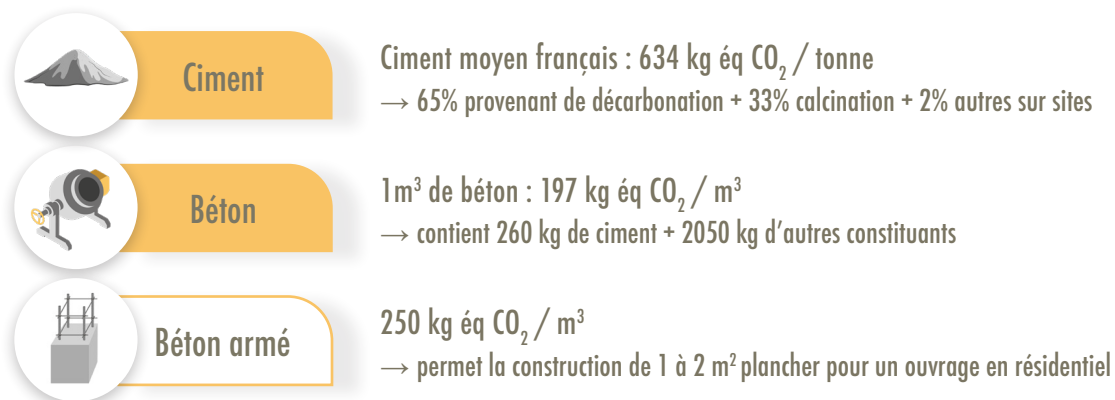


Figure 5 : Ordre de grandeur de l'empreinte carbone de ciment et béton (Source: France Ciment)

Cette fois de façon quantitative, pour prendre conscience du poids carbone des différents composants, le cas d'un béton classique (C25/30 XC1) sans armature est détaillée ci-après par Infociments :

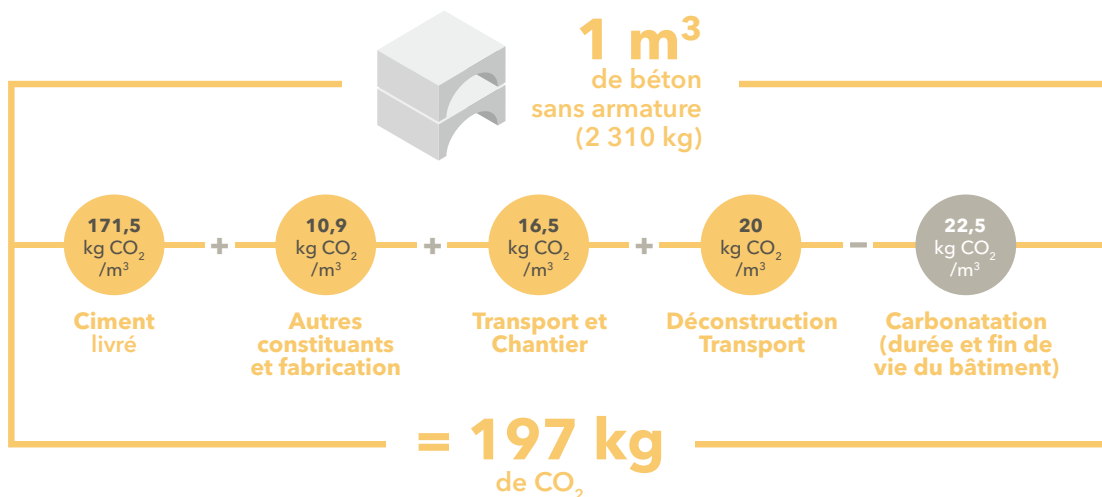


Figure 6 : Empreinte carbone d'1m³ de béton classique (C25/30 XC1) sans armature (Source : Infociments, 2022)

Le recours à la gamme de ciments à empreinte carbone réduite permet une empreinte carbone des bétons de l'ordre de 160 kg/m³ et même en-deçà. Ces bétons innovants sont conformes à la norme NF EN 206/CN. D'autres approches d'innovation sont en voie de certification.

Le béton à faible empreinte carbone est produit par un ensemble de processus, au cours desquels sont réduites les émissions de gaz à effet de serre associées à la production de l'ensemble de ses composants, **y compris les armatures métalliques lorsqu'elles sont présentes**. Des postes complémentaires de décarbonation **sont engagés en matière d'énergie et de transport**.

VRAI OU FAUX ?

“ Le béton « bas carbone », c’est plus cher. ”

FAUX : Bien que ce matériau puisse être légèrement plus cher que le béton usuel, en raison de son caractère innovant, son coût reste raisonnable au regard de l’ensemble des dépenses engagées dans la construction. La gestion de ce surcoût repose sur une conception intelligente et une organisation de chantier optimisée. En privilégiant la compacité du bâtiment, en optimisant l’utilisation des matériaux et en choisissant judicieusement leur emplacement, il est possible de réduire la quantité nécessaire de béton tout en conservant la qualité de la structure.

Stadium Learning Center, Strasbourg, France – Jean-Pierre Lott, 2022



2.2 Éco-conception en béton

Afin d'atteindre les seuils RE2020 de 2022 et 2025, la filière minérale apporte un ensemble de solutions pour décarboner le gros œuvre.

L'éco-conception du bâtiment en béton passe par les 3 pratiques suivantes :

1

L'utilisation de la donnée environnementale la plus appropriée

2

Le recours aux formulations de béton à plus faible empreinte carbone

3

L'éco-conception du bâtiment et le choix du béton le plus approprié

Dès aujourd'hui, l'association de ces bonnes pratiques permet de réduire significativement le bilan carbone du lot 3, gros œuvre.

2.2.1 Utilisation des bonnes données environnementales

L'utilisation des **données environnementales par défaut**, disponibles sur la base INIES, est susceptible d'entraîner une **surestimation de l'empreinte carbone du gros œuvre**. C'est pourquoi il est recommandé d'utiliser la fiche FDES collective ou individuelle la plus proche de la réalité de l'élément à prendre en compte. Ces pratiques permettent d'estimer le poids carbone de l'élément considéré au plus juste et évitent de pénaliser indûment le bilan carbone du projet. A titre d'exemple, au moins 4 options existent pour un voile de béton armé de 16cm avec 45 kg d'armatures par m³. De même, la bonne prise en compte de la distance de livraison abaisse le bilan carbone par rapport à la valeur standard.

Plusieurs outils d'aide à la sélection des données adéquates :



Le Guide Environnemental du Gros Œuvre (GEGO) de la filière béton, disponible gratuitement sur infociments.fr. GEGO permet, en phase d'éco-conception, de choisir les éléments constructifs les plus opportuns, pour atteindre les objectifs de performances requis par la future RE 2020.



Le configurateur BETie, mis à disposition par le SNBPE, permet d'éditer, par configuration de certains paramètres, des FDES de béton prêt à l'emploi conformes à la norme NF EN 15804 spécifiquement pour un chantier.



Le configurateur du CERIB, IB Environnement, permet d'éditer, par configuration de certains paramètres, des FDES de produits préfabriqués en béton.

2.2.2 Utilisation de la bonne formulation de béton

L'éco-conception du gros-œuvre passe par la sélection de la bonne formulation de béton, pour appliquer le **principe du "bon béton au bon endroit"**. Pour ce faire, il faut prendre connaissance de l'offre en ciment à plus faible empreinte carbone et utiliser les bonnes classes d'expositions.

La majeure partie des ciments actuellement commercialisés évoluera vers de nouveaux produits d'ici 2030, notamment les ciments de type ternaires CEM II/C et CEM VI dont les composants minéraux naturels peuvent être géosourcés à proximité des cimenteries.

La Figure 7 présente les empreintes CO₂ des ciments actuellement commercialisés. Elles s'échelonnent de 748 kg éq CO₂ par tonne de ciment pour un CEM I, c'est-à-dire un ciment avec 95% de clinker, à 202 kg éq CO₂ par tonne pour un CEM III-C béton « ultra bas carbone » à base de ciment avec très peu de clinker et beaucoup d'ajouts (Formulation EQIOM = 81% à 95% de laitier granulé de haut fourneau et 5 à 19% de clinker).

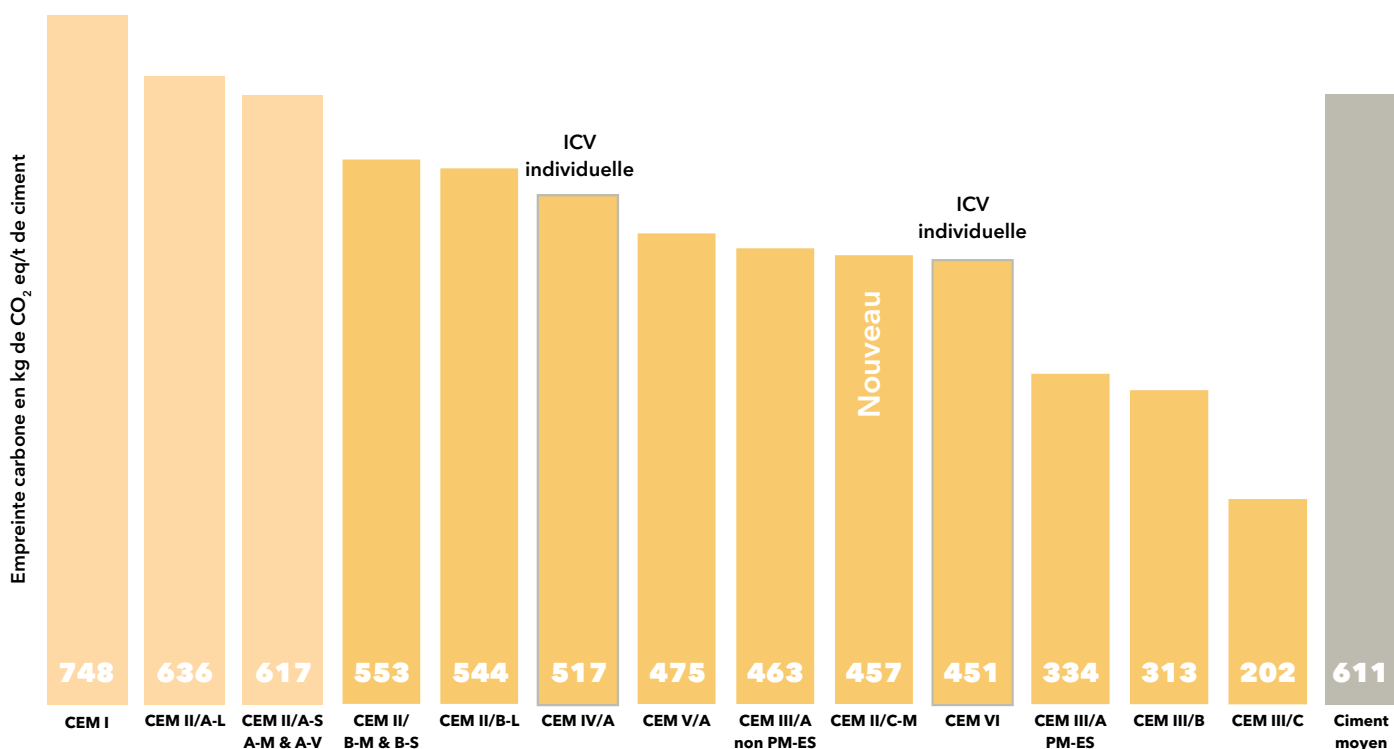


Figure 7 : Empreinte carbone des ciments exprimée en kg éq CO₂ par tonne
(Source : France Ciment, 2024)

Pour réduire significativement l'empreinte carbone de la construction béton, il n'y a pas une solution, mais un ensemble de solutions à additionner :

- sélectionner les ciments à empreinte carbone réduite selon leurs caractéristiques,
- choisir les classes d'exposition des bétons les plus adaptées,
- ajuster la formulation des bétons.

La Figure 8 ci-après rappelle le poids CO₂ éq/m³ d'un béton C25 XC1 (sortie centrale à béton), en fonction du ciment utilisé :

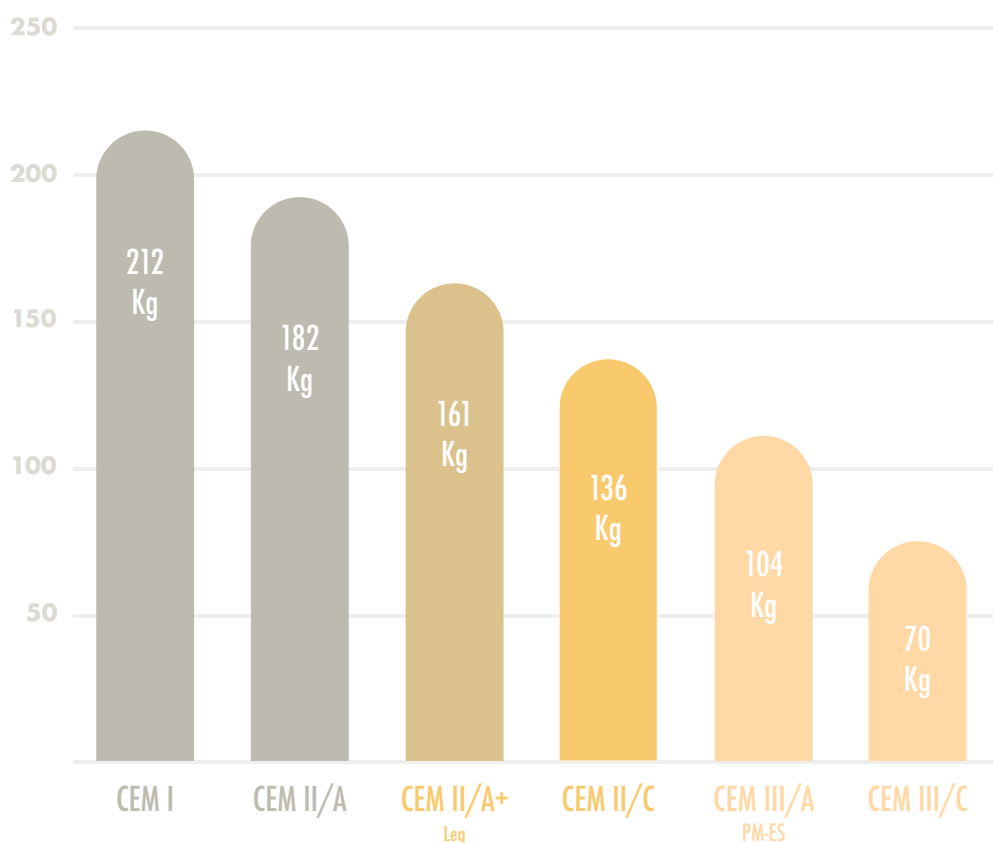


Figure 8 : Empreinte carbone des bétons (EQIOM, 2024)

Nous allons maintenant développer la notion d'éco-conception au niveau du bâtiment et proposer des estimations d'impacts environnementaux qui permettent de visualiser la part de décarbonation liée à chaque choix technique.

2.2.3 L'éco-conception au niveau du bâtiment

L'éco-conception béton passe par de nouvelles pratiques concernant la conception du bâtiment et englobe également sa fin de vie et la valorisation de ses composants. Pour **consommer mieux et moins de béton**, il est notamment nécessaire :

- de retenir les bonnes classes d'exposition en fonction des usages et de la fonctionnalité du bâtiment ainsi que de la localisation du béton dans l'ouvrage,
- d'adapter la section de poteaux et la performance du béton armé à chaque étage,
- d'opter pour des systèmes constructifs consommant moins de matière : un système poutrelle + hourdis béton (avec faux plafond + doublage façade) ou, en bâtiment tertiaire, de substituer la dalle classique par des éléments préfabriqués type dalles caissonnées ou dalles alvéolées.

ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE SELON LA RE2020

Comparatif d'options techniques d'éco-conception avec des solutions de conception plus classique

Le tableau suivant, produit par France Ciment, compare les empreintes carbone de solutions techniques, au niveau du produit mais aussi au niveau du LOT 3, par mètre carré de surface habitable (SHAB). *L'intégralité de ces estimations est accessible auprès de France Ciment.*

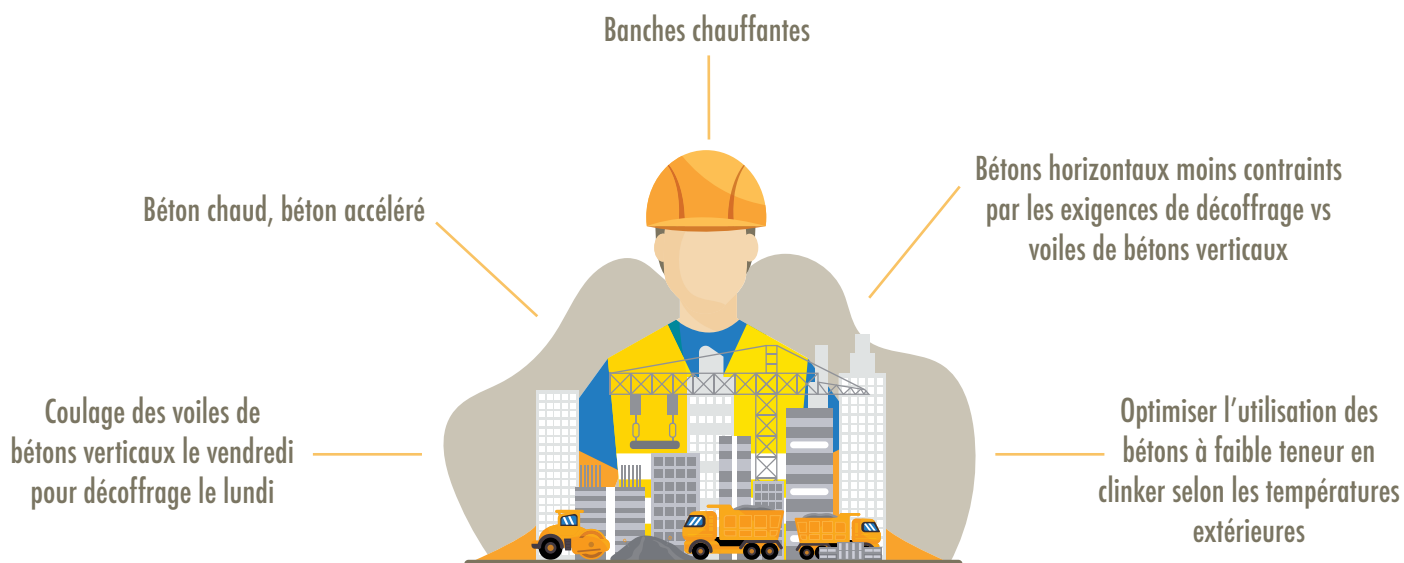
Paramètres	Description	Empreinte carbone RE2020	Gain à l'échelle du produit	Gain carbone à l'échelle du bâtiment (en kg éq CO ₂ / m ² SHAB)
Bon choix de la classe d'exposition				
Classe XF1 ou XC4	Dalle pleine C25/30 CEM II/A-L 50 kg d'armatures / m ³	54,7 kg éq CO ₂ / m ³	Référence	
Classe XC1		51,9 kg éq CO ₂ / m ³	-5,1%	-5,6
Optimisation des épaisseurs et des composants				
Épaisseur de 18 cm	Voile C25/30 XF1/XC4 CEM II/A-L 50 kg d'armatures / m ³	49,0 kg éq CO ₂ / m ²	Référence	
Épaisseur de 16 cm		43,5 kg éq CO ₂ / m ²	-11,2%	-5,5
Utilisation d'éléments de maçonnerie en façade de bâtiments				
Voile de 16 cm	C25/30 XF1/XC4 CEM II/A-L 50 kg d'armatures / m ³	43,5 kg éq CO ₂ / m ³	Référence	
Bloc béton en pose maçonnerie	C25/30 XF1/XC4 CEM II/A-L	19,4 kg éq CO ₂ / m ³	-55,4%	-24,1
Bloc béton en pose collée	50 kg d'armatures / m ³	16,8 kg éq CO ₂ / m ³	-61,4%	-26,7
Adaptation de la section des poteaux et la performance du béton armé selon les étages				
Section constante : 30*80 et 50*50	C25/30 XC1 CEM II/A-L 110 kg d'armatures / m ³	328,4 kg éq CO ₂ / m ³	Référence	
Section variable : Niv 0 à 3 : 30*80 et 45*50 Niv 4 à 6 : 25*80 et 40*50 Niv 7 à 9 : 20*80 et 30*50	C 35/45 XC1 CEM II/A-L 90 kg d'armatures / m ³	354,0 kg éq CO ₂ / m ³	+7,8%	-1,8
Choix du système constructif poutrelle-hourdis				
Dalle pleine de 20 cm	C25/30 XC1 CEM II/A-L 50 kg d'armatures / m ³	51,9 kg éq CO ₂ / m ²	Référence	
Plancher poutrelle-hourdis avec faux-plafond acoustique (ép. 10 cm)	Inclus dalle de compression et réhausse des murs base CEM II/A-L	37,5 kg éq CO ₂ / m ²	-27,8%	-28,8
	Inclus dalle de compression et réhausse des murs base béton « bas carbone » (160 kg CO ₂ / m ³)	34,0 kg éq CO ₂ / m ²	-34,5%	-35,8
Substitution de la dalle pleine par des éléments préfabriqués (Tertiaire)				
Dalle pleine de 20 cm	C25/30 XC1 CEM II/A-L 50 kg d'armatures / m ³	51,9 kg éq CO ₂ / m ²	Référence	
Dalle alévoilée 16 cm + dalle de compression 4 cm	Avec dalle de compression en béton à base de CEM II/A-L	48,8 kg éq CO ₂ / m ²	-6,0%	-6,2

Lot 3, conversion en m² SHAB : Plancher : 2m² / m² SHAB; Façade : 1 m² / m² SHAB, Poteau section constante : 0,024 m² / m² SU; section variable 0,017 m² / m² SU.

2.3 Le chef de chantier, acteur de la décarbonation

L'effort de décarbonation incombe également au **chef de chantier** en charge de piloter **l'éco-réalisation** du bâtiment au quotidien. Chacune de ses décisions de mise en œuvre doit bénéficier au bilan carbone global et il faudra, en toute logique, privilégier les actions qui ne sont pas sur le chemin critique du chantier.

Par temps froid, le sujet de l'allongement du temps de séchage se pose lors de l'utilisation de bétons à faible teneur en clinker. Le chef de chantier dispose alors d'une palette de **solutions, organisationnelles et techniques**. Il s'agit de saisir toutes les opportunités d'amointrissement du bilan carbone, par une adaptation constante et une intégration des contraintes sur site.



L'adoption de **précautions de mise en œuvre** doit permettre de conserver le bénéfice de l'usage de matériaux à faible empreinte carbone aujourd'hui sollicités dans les cahiers des charges de très nombreux marchés publics et privés. Une certaine souplesse et **l'adaptation des pratiques de chantier** sont nécessaires sans toutefois créer un frein majeur à l'adoption de ces produits.

2.4 Contributions du recyclage

Au-delà de la **diminution des impacts carbone du béton**, on peut **préserver les ressources naturelles** grâce aux granulats de béton recyclé (GBR).

Jusqu'alors préférentiellement orienté vers les travaux publics, **l'emploi des GBR dans la formulation de béton** participe à l'économie des ressources du secteur de la construction et contribue à l'éco-conception du béton et du bâtiment dans son ensemble.

Cette transition vers l'économie circulaire représente un changement significatif. Bien que ces nouvelles pratiques demeurent pour l'instant limitées, elles ambitionnent de s'étendre dans les années à venir, notamment grâce au déploiement de la REP et aux objectifs fixés aux éco-organismes spécialisés (pour les déchets inertes, Valobat et Ecominéro).

Derniers développements ayant affectés l'utilisation des GBR dans le bâtiment :

2018 – En France, et suite au projet **RECYBETON** qui proposait de recycler le béton dans le béton, le SNBPE publie des recommandations qui conduiront à de nombreuses modifications normatives pour permettre la valorisation des bétons de démolition en matériaux recyclés. Ces évolutions sont transcrites dans la norme NF P 18-545 « Granulats - Élément de définition, conformité et codification » (octobre 2021) et la version NF EN 206+A2/CN (octobre 2022) ainsi que dans les normes Eurocodes EC2.

2022 – Depuis janvier, la Responsabilité Élargie du Producteur (REP) s'applique aux produits et matériaux de construction du secteur du bâtiment (PMCB) en vue de :

- Réduire les dépôts sauvages en améliorant la collecte par la reprise sans frais des déchets, la densification du maillage des points de collecte, et l'amélioration de la traçabilité.
- Prévenir la saturation des décharges par le développement du recyclage matière ainsi que du réemploi et de la réutilisation.

Financée par les metteurs en marché de produits de construction, la REP PMCB a pour objectif de **recycler ou valoriser 90% de déchets inertes et matériaux en 2028 contre 75 % en 2023**.

2023 – L'adhésion à un éco-organisme devient obligatoire en janvier 2023. La filière REP Bâtiment se structure rapidement via un maillage dense de plateformes de tri-valorisation, stratégique dans l'organisation logistique de la filière afin d'atteindre les objectifs de réduction des émissions carbone.

2024 – Conformément à la réglementation de la REP PMCB, les éco-organismes de catégorie 1 appliqueront l'éco-modulation sur certains produits et matériaux à partir de mai 2024. Les **éco-modulations** sont un système de bonus-malus appliqué sur les éco-contributions en fonction de critères environnementaux. L'éco-modulation favorisera le recours aux composants recyclés.

Villa Domes, Chisinau, Moldavie – Maxim Calujac, 2022



2.5 Bâtiments de référence - Constructions béton

Les bâtiments de référence présentés ci-après ont permis d'éprouver les adaptations de mise en œuvre nécessaires des innovations en béton bas carbone et matériaux recyclés, tout en restant dans le modèle économique commun de la construction. Ces bâtiments offrent des perspectives novatrices quant à la construction décarbonée, génèrent des retours d'expériences et ont vocation à inspirer les architectes et maîtres d'ouvrages.

2.5.1 Réalisations inspirantes à base de béton bas carbone

La Figure 9 localise neuf chantiers de référence et renseigne sur le type de béton utilisé dans chaque cas. Les cas des résidences Combo (Bordeaux, 33) et Îlot Fertile (Paris, 75) sont plus particulièrement détaillés en termes de précautions de mise en œuvre et de réduction d'empreinte carbone liées à l'utilisation de béton de dernière génération.

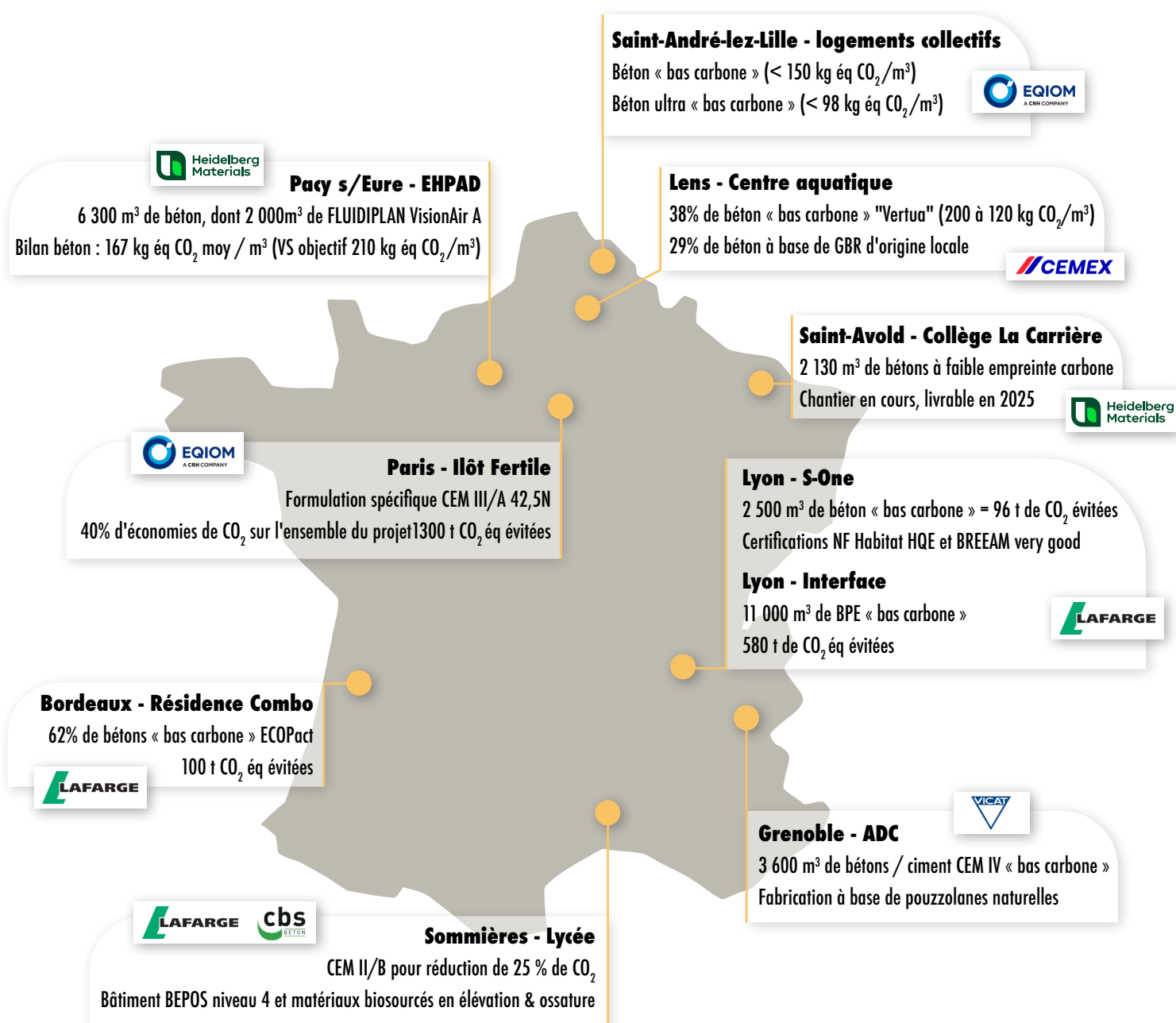


Figure 9 : 10 sites de références (Source : Cimbéton, 2024)

Focus sur la Résidence Combo

2024 / Bordeaux (33) / 35 logements locatifs sociaux de type loft

MO : Aquitanis

Architectes : Leibar et Seigneurin

Constructeur : Ramery Bâtiment
et Lafarge Bétons Aquitaine



Le projet Combo se caractérise par une esthétique minérale distinctive et une empreinte carbone minimisée.

L'Agence Lafarge Bétons Aquitaine a fourni sa gamme de bétons « bas carbone » pour ce projet. Des tests préliminaires ont été effectués pour valider la formulation optimale en termes d'esthétique et de technicité.

Les tests ont confirmé la qualité et la mise en œuvre du béton « bas carbone », démontrant qu'il répond aux normes de qualité et de mise en œuvre des bétons standards.

En utilisant des déchets de l'industrie sidérurgique et en optimisant le processus d'activation, la quantité de clinker dans le ciment a été réduite, entraînant une diminution de 50% de l'empreinte carbone du béton utilisé.

L'entreprise a collaboré étroitement avec les architectes et l'entreprise Ramery Bâtiment pour garantir la qualité et la mise en œuvre du béton. Cette coopération a permis de couler 1600 m³ de béton, dont 1000 m³ de béton « bas carbone », réduisant l'empreinte carbone d'environ 100 tonnes éq CO₂. Ce béton « bas carbone », architectonique et autoplaçant, utilisé pour les voiles de façade, offre un rendu brut fini semblable à une "pierre naturelle".

Diminution de 50% de l'empreinte carbone du béton utilisé.

Focus sur l'Îlot Fertile

Lauréat début 2016 de l'appel à projets urbains innovants « Réinventer Paris »
2016 / Paris (75) / Ensemble immobilier de 34.000 m²

MO : Ville de Paris et Linkcity

Architectes : TVK Architectes et Urbanistes

Constructeur : Bouygues Bâtiment IDF

BE environnement : AMOES



Le béton « bas carbone » utilisé (EQIOM) :

- 34.000 m² de chantier
- 22.000 m³ de béton à faible empreinte carbone
- 80% de béton à faible empreinte carbone utilisé, pour une grande variété d'ouvrages
- Caractéristiques du béton : béton à base de ciment CEM III/A 42,5N

1 300 t de CO₂ ont été évitées, soit -40%

2.5.2 Constructions à base de matériaux recyclés

Nous évoquons ci-après trois exemples illustrant l'émergence d'une construction à base de matériaux recyclés. Ces trois chantiers démontrent que l'utilisation de **béton contenant des granulats recyclés issus du béton** peut répondre aux besoins de bétons structurels, ouvrant la voie à de nouvelles pratiques de construction plus économe en ressources.

Exemple 1 : Le projet E3S (2020)

2020 / Châtenay-Malabry (92)

Collaboration Eiffage et l'Université Gustave Eiffel, partenaires du projet Fastcarb, stockage de CO₂ par carbonatation du béton recyclé.



Développé sur les 20,6 hectares de l'ancien site de de l'École Centrale, ce projet ambitieux mènera, à échéance 2027, à la construction de 2 200 m² logements, 36 500 m² de bureaux et 15 000 m² commerciaux.

Le projet est présenté par ses promoteurs comme une preuve d'engagement fort dans la démarche de conception et construction « bas carbone ».

Du point de vue du béton, le chantier repose sur plusieurs principes innovants :

1 **Le réemploi massif *in situ*, appliquant ainsi les principes de l'économie circulaire pour la gestion des flux de matériaux.** Suite au diagnostic PEMD ressources, le réemploi sur site des matériaux issus de la déconstruction des anciens bâtiments est organisé avec la démolition et le concassage de 98% du béton déconstruit sur place.

Impact : 6000 camions évités = 120 tonnes de CO₂.

2 **La généralisation de l'utilisation de granulats recyclés dans tous les bétons utilisés via une centrale à béton dédiée.** Mise en oeuvre d'un béton 'standard' avec 30% de recyclés, respectant les normes autorisées mais également une formule 'pilote' avec 100% de recyclés, qui fait l'objet d'une Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEX). Au total 100 000 tonnes de gravats ont permis de produire 53 000 m³ de granulats recyclés. 35 000 m³ de ces granulats sont employés pour la constitution des couches de forme et des tranchées pour la réalisation des espaces publics. Les 18 000 m³ granulats recyclés restant serviront directement à la construction et à la production du béton.

Impact : 100% des bâtiments déconstruits seront recyclés entre 2020 et 2022.

3 **La re-carbonatation accélérée des granulats recyclés et sables (5 tonnes) sur chantier, via une installation mobile.** Le but est d'améliorer la qualité des granulats recyclés par le colmatage de la porosité et de diminuer finalement l'impact CO₂ du béton dans les structures. **Impact : 50 à 100 kg de CO₂ absorbés par tonne de béton .**

Exemple 2 chantier de référence 'Les Hauts de Brimberne'

2024 / Sautron (44) — Collaboration Lafarge Béton Ouest et ERB



Combinant ciment « bas carbone » et granulats recyclés, ce chantier donne un aperçu de l'impact environnemental du recyclage du béton dans le béton et de l'utilisation de liants bas carbone.

Sur 1 800m³ de BPE mis en place, environ 590 m³ contiennent des granulats recyclés (+/- 14 %).

Part de carbone économisée :

- 1 Granulats recyclés (Dans 590m³ de BPE) :
→ 170 tonnes de granulats naturels préservés
→ Environ 413 kg éq CO₂
- 2 Liants bas carbone (Dans 690m³ de BPE comparé à du BPE avec CEMII) :
→ Environ 48 300 kg éq CO₂

Total d'environ 48,7 t éq CO₂ économisées

Exemple 3 : La première construction au monde en béton 100% recyclé

2024 / Gennevilliers (92) — Collaboration Holcim et Seqens



Le projet porte sur la réalisation d'environ 220 logements, dont 70 logements sociaux. Les premiers coulages de l'infrastructure et du béton recyclé de la superstructure ont eu lieu au printemps 2024. L'ensemble des logements sera livré au dernier trimestre 2024.

Issues de la démolition de 166 logements existants en 2021, les 220 nouvelles habitations seront construites à partir de **100% des ciments, gravillons, sable et eau issus de la déconstruction.**

3. LE BÉTON, VERS LA NEUTRALITÉ CARBONE EN 2035

La Stratégie Nationale Bas Carbone et la RE2020 modifient en profondeur l'approche traditionnelle de la construction. L'atteinte de la neutralité carbone se fera notamment grâce au fort potentiel de décarbonation du matériau béton.

Il est possible d'atteindre la neutralité carbone dans les usages courants du béton dès 2035.

3.1 Clés de la transformation du gros-œuvre

La **coopération à grande échelle** des acteurs permettra de voir émerger de nouvelles pratiques capables d'intensifier la décarbonation du gros œuvre.



Informar pour inciter les acteurs à s'approprier le béton « bas carbone » et augmenter le nombre de bâtiments de référence.



Faire évoluer les réglementations et les guides techniques afin de faciliter la mise en œuvre du béton décarboné et d'en exploiter tout le potentiel technique.

3.1.1 Adoption des nouvelles gammes par les acteurs de l'aval

Pour **encourager les acteurs à aller au-delà des normes actuelles**, il faudra conjointement :

Sensibiliser et communiquer – Les fournisseurs et fédérations professionnelles des ciments et bétons doivent davantage accompagner les acteurs de la prescription dans l'acculturation aux produits « bas carbone » et normes associées. Cela implique d'accentuer la communication sur les performances attendues des matériaux pour répondre aux enjeux de la RE2020.

Perfectionner la formation des ingénieurs, chefs de chantier et compagnons – Pour voir évoluer les habitudes constructives il faut continuer à **mettre à jour les formations initiales** (école d'ingénieur, BUT, BTS bâtiment, CAP...). Il faut faire connaître les gammes de bétons décarbonés et leurs caractéristiques de mise en œuvre, sensibiliser à la mixité des matériaux, à l'optimisation des calculs de structures. L'effort de sensibilisation et de communication doit également être dirigé vers l'ensemble des personnels de l'enseignement en charge de la formation des jeunes vers les métiers de la construction.

Multiplier les retours d'expérience (REX) – La diffusion des REX techniques et détaillés de bâtiments de référence est à encourager en vue de généraliser les choix techniques et de mise en œuvre des bétons « bas carbone ».

Généraliser la prescription concertée – La maturation des projets de référence du béton bas-carbone passe par une **concertation large des acteurs de la construction** : architecte, MO, BET/AMO, entreprises, contrôleurs techniques et assureurs... Cette approche de **prescription concertée** assure à tous la prise en compte précoce de leurs contingences face aux propositions techniques avancées.

VRAI OU FAUX ?

“ Le béton est un matériau du passé. ”

FAUX : Le béton d'aujourd'hui est le fruit de 200 ans de développement continu et l'amélioration de ses performances par la chimie minérale n'a pas fini d'être explorée. Ainsi, la recherche sur le béton mobilise des milliers de scientifiques et ingénieurs des instituts les plus prestigieux autour de ses formulations. On n'évoque plus le béton mais une multitude de solutions bétons qui répondent à des besoins spécifiques (autoplaçants, fibrés, autonettoyants, légers, drainants, luminescents, adaptables à toutes les formes, des plus simples aux plus complexes). Acteur responsable de la transition écologique, le béton ne cesse d'évoluer.

3.1.2 Évolution des réglementations et de l'assurabilité

Optimiser le potentiel de décarbonation des nouvelles gammes de ciments et béton s'appuiera également sur :

1

L'évolution des réglementations
qui imposera l'utilisation de matériaux
à très faible empreinte écologique

2

L'assurabilité des bâtiments
de références et futurs projets

ÉVOLUTION DES RÉGLEMENTATIONS

Les normes environnementales imposent aux acteurs du secteur l'adoption de **pratiques durables d'éco-conception**, en encourageant :

- la sobriété en termes de ressources environnementales (minéraux, eau...),
- les pratiques circulaires (réemploi, recyclage...),
- l'utilisation de données environnementales précises de la base INIES (FDDES) pour mesurer l'impact carbone des bétons, et éviter les valeurs par défaut,
- l'intégration du concept de déconstruction dans la conception des bâtiments.

Dans une démarche d'amélioration continue de la législation, nous soumettons aux groupes de travail de 'Cap 2030', missionnés pour préparer l'après RE2020 et coordonnés par le Ministre de la Transition écologique, chargé du Logement, de prendre en considération les observations suivantes :

- Prendre en compte dans les prochaines réglementations des indicateurs tels que le **CO₂ éq/MPa** qui soutiendrait la promotion des bétons ultra-performants et le **CO₂ éq/an** qui rendrait plus équitablement compte des bénéfices de durabilité des bétons.
- Compléter les **indicateurs de pilotage par des indicateurs mettant en valeur la durabilité dans le temps et les coûts de maintenance impliqués par certains types de matériaux** moins durables que le béton, afin de traiter équitablement tous les matériaux de construction

Côté calculs structurels, la mise à jour des EUROCODES prévues pour 2026, voire 2027 est un signal encourageant, il pourrait permettre de :

- **optimiser les volumes à performance constante** (poteaux de tailles variables, enrobage dissymétrique des murs extérieurs),
- **booster l'exploitation des bétons recyclés** qui ne font aucun compromis sur la sécurité et les propriétés mécaniques du produit fini,
- **donner les bases de calcul** pour optimiser les structures à base de béton décarboné ultra performant.

ASSURABILITÉ

Il faut poursuivre **l'amélioration des processus de maîtrise des risques technico-assurantiels**, particulièrement en cas de réemploi/recyclage. Une méthodologie doit être mise en place entre le MO et l'assureur, rendant incontournables les étapes suivantes :

- **Intégrer les assureurs dans la démarche et le processus du projet dès la phase d'étude** afin que le projet et la démarche soient compris et validés.
- **Suivre une démarche systématique** pour chaque produit innovant (Appréciation Technique d'Expérimentation optimisée - ATEx puis avis technique) ayant pour objectif de démontrer aux assurances que les matériaux employés ne présentent pas plus de risque que leur équivalent en technique courante.
- **Structurer les rapports des experts** (contrôleurs techniques, ingénieurs de bureaux d'études) afin que ces dossiers, qui doivent permettre le traçage des matériaux et documenter leur mise en œuvre, puissent convaincre les assureurs.

En se généralisant, le surcoût de ce processus spécifique pourra s'atténuer.

3.2 Innovations technologiques

Pour parvenir à une réduction des émissions comparée à 2015 de respectivement 50% en 2030 et de 90% en 2050, l'industrie cimentière devra mettre en place des stratégies de rupture, des investissements massifs en R&D et dans les outils de production. Il faudra notamment déployer progressivement des innovations en cours de test dans des opérations pilotes et accélérer la démarche d'innovation des solutions au stade de laboratoire (béton au graphène...).

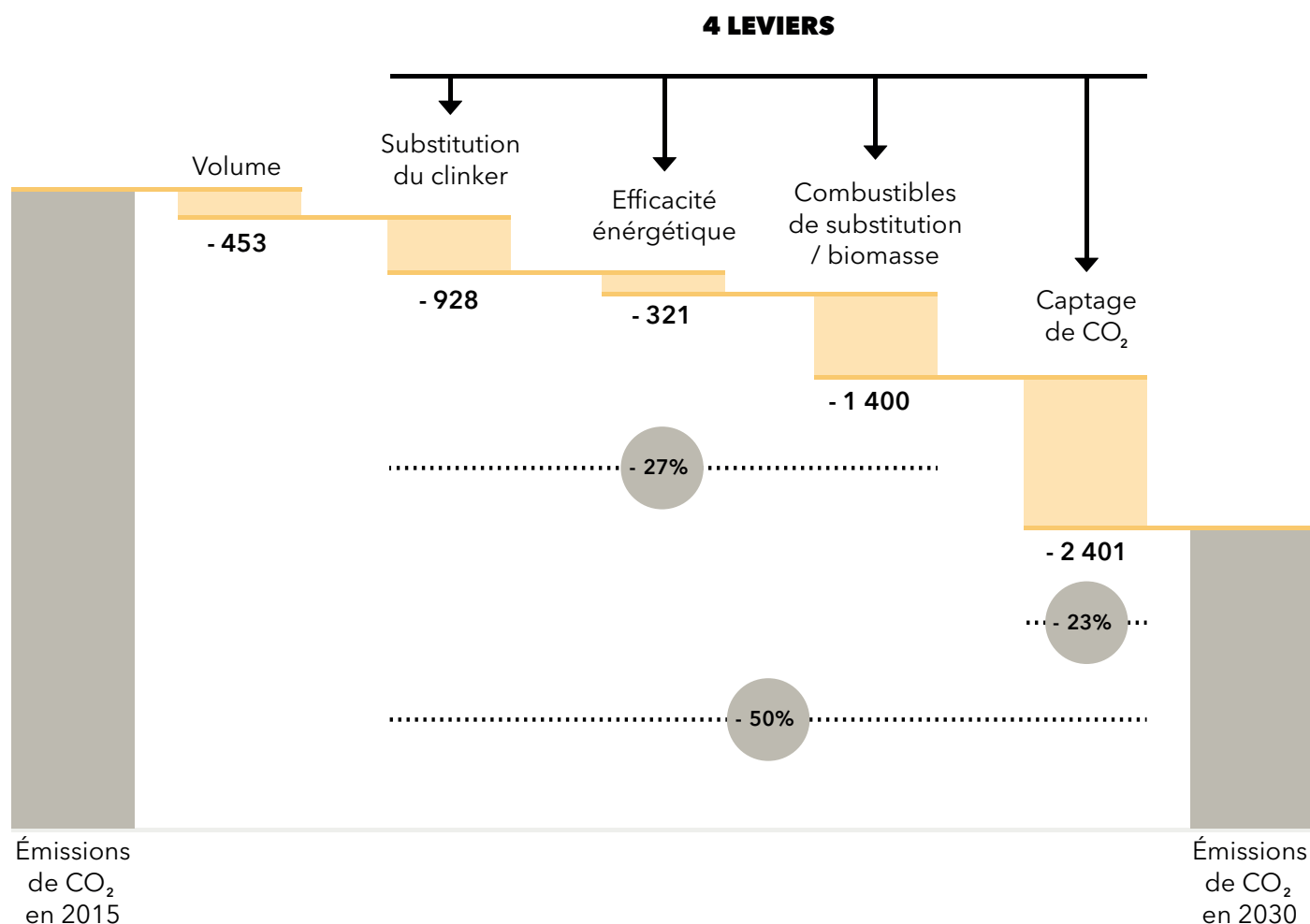


Figure 8 : Baisse des émissions de CO₂ du ciment entre 2015 et 2030 (France Ciment)

Sur le chemin critique de la décarbonation et de la circularité de la filière minérale se trouve l'aboutissement des **technologies de capture de CO₂** qui doivent permettre de réduire de plus de 23% des émissions de GES de l'industrie cimentière.

3.2.1 Séquestration et utilisation du CO₂

Les technologies de capture et de stockage du dioxyde de carbone (CCS) sont exigeantes en termes d'investissements. Des innovations plus rentables que le CCS sont nécessaires pour **éviter ou absorber un maximum des émissions du secteur**. Des projets d'innovations révolutionnaires de **technologies qui Capturent et Utilisent le Carbone (CCU)** émanant des activités de production de ciment et de béton sont soutenus par les fonds de la recherche européenne. Capables d'offrir des émissions négatives à grande échelle, ces innovations créent des opportunités de revenus futures pour le secteur et enrichiront les modèles économiques circulaires.

Plusieurs axes de recherches sont envisagés, parmi eux :

1

L'ingénierie CCU par minéralisation des produits bétons via une réaction chimique entre le CO₂ et le BPE (solution à base d'amines = capture 4000 Mtonnes de CO₂ sur le pilote)

2

Des technologies avancées de liants bas-carbone alternatifs issus de matières premières telles que la magnésie ou les roches mafiques ou ultra-mafique

3

Des procédés de durcissement (durcissement par carbonatation)

La Casamaures, Saint-Martin-le-Vinoux, France – XIX^e siècle
(Oui, ce bâtiment est en béton !)



3.2.2 Les innovations du béton

D'autres avancées technologiques en cours de maturation auront un impact environnemental positif en allant dans le sens de la frugalité en termes de consommation de matériaux, comme :



Les bétons à haute, ultra haute performance (BHP, BUHP)

L'amélioration des performances du béton est obtenue en réduisant la porosité du matériau par addition de particules ultrafines type « fumée de silice », l'ajout d'un adjuvant superplastifiant, haut réducteur d'eau et par la réduction du rapport eau /ciment. Ce procédé permet de diviser par 6 le volume de béton.

La Grande Arche de la Défense, à Paris, avec la mise en œuvre d'un BHP.



Les bétons Fibrés Ultra Performants BFUP

Ce béton permet d'associer très fortes résistances et diminution de matière. En comparaison aux bétons normaux, ils contiennent plus de ciment, un ratio eau/ciment plus bas, des granulats à large distribution granulométrique et des fibres.

Les panneaux qui recouvrent la toiture et les façades du Mucem, à Marseille, ont été réalisés en BFUP.



Le béton au graphène

Des chercheurs de l'Université d'Exeter, au Royaume-Uni, ont mis au point un béton révolutionnaire, nommé GraphCrete, en utilisant du graphène. Ce matériau composite obtenu est deux fois plus résistant que les bétons classiques et présente une résistance à l'eau quatre fois supérieure. De plus, sa production entraîne moins d'émissions de carbone, ce qui pourrait avoir un impact significatif sur l'industrie de la construction.

"Une nouvelle technique de production proposée par la start-up strasbourgeoise leader en France Blackleaf, permet en effet de réduire de 50% la quantité de matériaux nécessaire à la production de béton, conduisant à une diminution de 446 kg / tonne d'émissions de carbone", précise le Professeur Monica Craciun, co-auteur de l'étude.



Le béton d'Anthropicite®

Inspiré du vivant, la société Néolithe développe des technologies pour traiter de manière durable les déchets ultimes en utilisant la Fossilisation Accélérée. Le processus proposé séquestre plus de CO₂ qu'il n'en émet et vient révolutionner le mode de traitement des déchets non-recyclables en les transformant en pierre.

Les granulats issus de la fossilisation accélérée des déchets sont appelés Anthropicite® et peuvent se substituer à des granulats naturels issus des carrières pour une utilisation en béton non-structurel, sans risque technique ou environnemental. L'Anthropicite® a une empreinte carbone négative, c'est-à-dire que pour une tonne de granulats produite, 337 kg de CO₂ équivalent sont stockés au sein des granulats. La fabrication et l'utilisation par le BTP de ces granulats ont donc un effet positif sur l'environnement.



Le béton au biochar

Le cimentier Vicat a mis au point un liant à base de biosourcé pour fabriquer un béton structurel très « bas carbone ». Deux chantiers pilotes démontrent la simplicité de sa mise en œuvre. Le CO₂ est absorbé par les plantes puis il est concentré par pyrolyse sous la forme de carbone physique, le biochar, reconnu comme une solution de séquestration à long terme de carbone par le GIEC.

Le biochar est incorporé dans le ciment afin de créer un puits de carbone organique. Noir lorsqu'il est frais, le béton formulé avec le liant Carat s'éclaircit en séchant et ne se distingue plus d'un produit courant. Pourtant, ce béton structurel n'émet que 19,7 kg éq CO₂/m³, affichant un poids carbone jusqu'à 10 fois inférieur à celui d'un béton courant (qui, non armé, consomme autour de 200 kg éq CO₂/m³).



Les bétons biosourcés

Qui dit « biosourcé » dit « biomasse », d'origine végétale ou animale, Il existe un grand nombre de combinaisons possibles. La biomasse va se substituer pour tout ou partie aux granulats minéraux dans la formulation du béton.

En intégrant des granulats non-minéraux, ces bétons s'inscrivent dans une stratégie de réponse aux enjeux du changement climatique, de protection et de valorisation de l'environnement.



L'upcycling des fines recyclées

Des recherches sont en cours pour valoriser des granulats recyclés sous forme de fines ($D_{max} < 80 \mu m$), dans la fabrication de nouveaux liants hydrauliques, c'est à dire comme addition minérale en substitution du ciment pour les mortiers et bétons.

La récupération des fines issues du recyclage de granulats dans le ciment ou dans le cru de la production du clinker libérera moins de CO_2 et offrira une solution partielle à la préservation des ressources naturelles. Les fines recyclées peuvent représenter de 10 à 13% du ciment, ce qui permet d'estimer que 2% du volume recyclé est constitué de fines (13% de 20% ...).



La carbonatation des granulats

Les parties fines des granulats recyclés, incorporent de la portlandite et des silicates hydratés qui peuvent être carbonatés plus rapidement que le béton dans les structures. Le but du projet Fastcarb, qui a démarré en 2018, est donc de stocker le CO_2 dans les GBR de manière accélérée, d'améliorer la qualité de ces granulats par le colmatage de la porosité et de diminuer finalement l'impact CO_2 du béton dans les structures.



L'impression 3D

Apport du numérique, l'impression 3D offre un nouveau paradigme dans la mise en œuvre du béton, décuplant les possibilités créatives. Les améliorations en cours des procédés laissent entrevoir une plus grande rapidité d'exécution des projets. L'impression 3D béton réinvente la manière dont nous concevons et construisons nos environnements, passant de la modélisation 3D à la concrétisation physique en 3D.

En 2024, testé par Spie batignolles, XtreeE et Lafarge, la technologie emPrinte serait capable de diminuer de 30 % à 50 % les émissions carbone des éléments produits en 3D par rapport à un mode constructif traditionnel, principalement en divisant par 2, voire 3, la quantité de béton employée pour un ouvrage.

L'ensemble des efforts d'innovation technologique accompagne les acteurs vers l'objectif zéro carbone.

4. PERSPECTIVES ET APPEL À L'ACTION

4.1 Perspectives

Nous avons retracé le **chemin de décarbonation des ciments et bétons** parcouru depuis les années 2010 et nous nous sommes **projetés en 2035, horizon visé de la neutralité carbone** de ces matériaux.



Le béton est prêt à accompagner l'évolution de l'acte de construire qui a vocation à se transformer en profondeur, et guidée par l'intérêt commun et la préservation de l'environnement.



Pour **accélérer son déploiement et minimiser efficacement le surcoût** du béton à faible empreinte carbone, des **approches collaboratives et intégrées** doivent se développer, où l'innovation et la durabilité se placent au cœur de chaque décision.

Des perspectives optimistes apparaissent sur la trajectoire de décarbonation du secteur de la construction :

1 En cimenterie, il faudra continuer à **s'affranchir des énergies fossiles**, pour atteindre l'objectif de zéro émission de CO₂ lié à la combustion et **adopter les formulations avec peu, voire sans clinker**, les plus soutenables. Les **technologies de ruptures** du CCS/CCU finaliseront la décarbonation des activités amont.

2 **L'utilisation de l'IA permettra de concevoir de façon éco-responsable.** Imaginons un **outil intégrant de l'intelligence artificielle** capable de prendre en charge l'éco-conception (système constructif, calculs structurels, choix des matériaux, organisation des chantiers) pour utiliser le bon béton au bon endroit et au bon volume. L'outil **intégrerait le concept d'allongement de la durée de vie des bâtiments (adaptabilité, réemploi, réparabilité,...) dans le processus de conception**, ceci afin d'éviter de futures rénovations complexes pour s'adapter aux évolutions ou aux changements d'usage des bâtiments. Un tel outil permettrait également d'augmenter la **précision des bilans carbone** ante et post travaux.

3 **Embarquons les projets de rénovation dans le périmètre d'application de réglementation environnementale de type RE 2020.** Les futures réglementations devront s'y appliquer pour encourager le changement. **L'enjeu primordial est la massification de la rénovation énergétique globale et performante.** La prise en compte du **carbone fossile gagné/économisé** doit également être intégrée dans les stratégies de rénovation. Il faudra **développer la solution de réattribution d'usage** (par exemple, la transformation de bureaux en logements).

4 **Exploisons pleinement le potentiel de circularité du béton à faible empreinte carbone, dans une logique de durabilité et de rentabilité.** Ce béton s'inscrit naturellement dans une **logique d'économie circulaire** grâce à sa capacité à incorporer dans sa composition des granulats de bétons recyclé.

Si l'on considère le béton décarboné, pour aller plus loin, il semble indispensable de se pencher sur **trois éléments clés** du futur modèle économique circulaire :

1

La sensibilisation et les aides au financement de l'économie circulaire - il faut travailler des stratégies de communication, et/ou proposer des incitations financières qui développent la conscience écologique et encouragent la transition vers des approches plus circulaires.

2

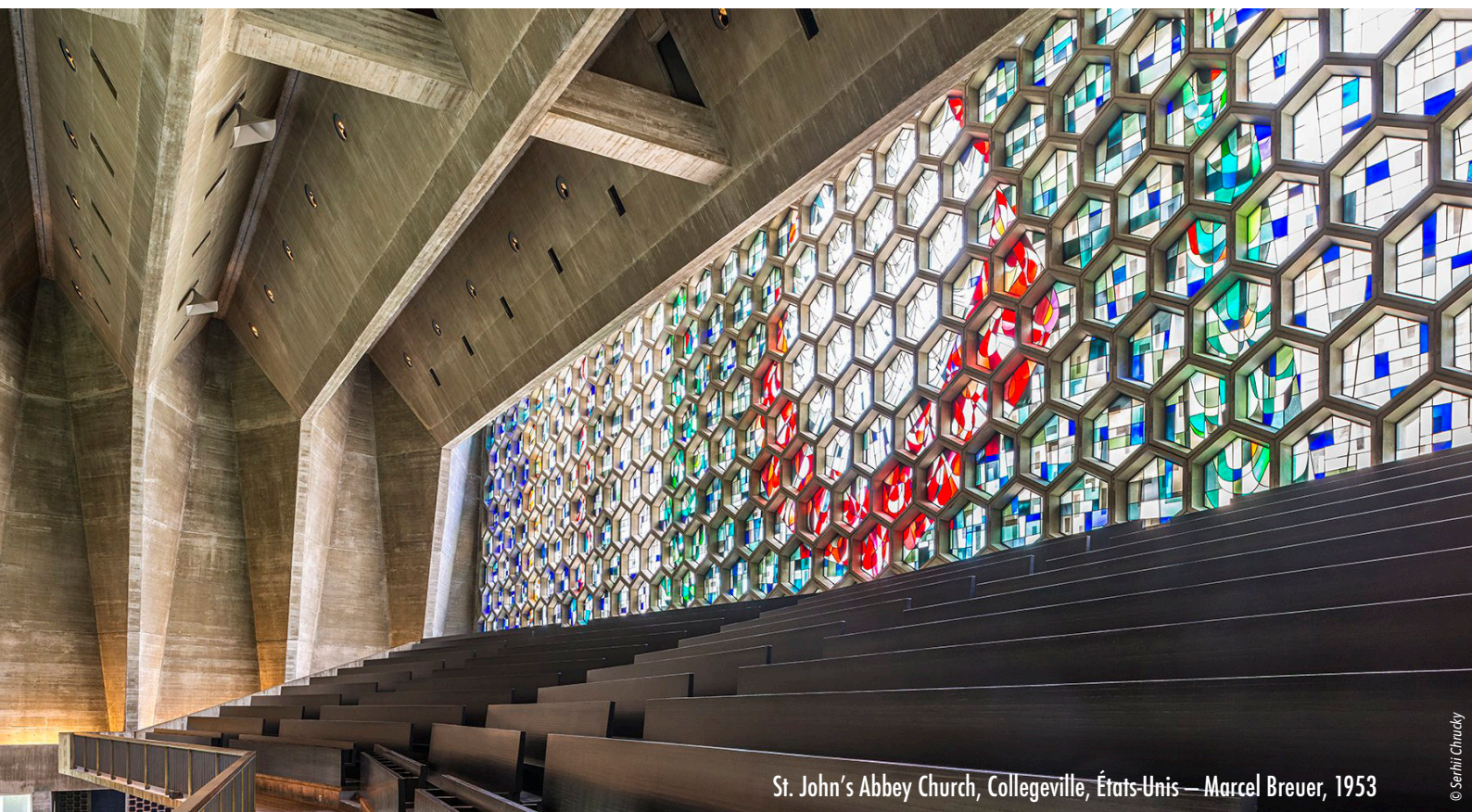
Le développement des filières par l'établissement de partenariats et plateformes de réemploi - recyclage qui structurent les boucles de circularité (éco-organisme, plateformes de réemploi - recyclage).

3

Considérer les réglementations comme des opportunités pour la recherche et la promotion de ces modèles d'affaires (recyclage, éco-conception, normes environnementales (RE2020...)).

5

Inventons de nouveaux leviers économiques pour le béton. Imaginons de nouvelles façons de recourir au béton, comme il est aujourd'hui possible de le faire pour les lots techniques sous contrat de performance énergétique. **Le béton est plus facile à garantir que les autres matériaux.** En gardant pour objectif un bilan carbone minimum, nous pouvons imaginer de développer des **modèles économiques de leasing sous garantie de performance et d'entretien, de soutien aux changements d'usages et à la valorisation du béton déconstruit.** Il serait possible, par exemple, de louer une façade en béton démontable, tout en ayant la possibilité de modifier son aspect en cas de changement d'usage du bâtiment. Ses performances seraient sous contrôle de capteurs IoT et un bouquet de services pourrait être proposé comme une maintenance prédictive de la fissuration.



St. John's Abbey Church, Collegetown, États-Unis — Marcel Breuer, 1953

© Serhiy Chumak

4.2 Appel à l'action

À l'appui d'une trajectoire de décarbonation clairement identifiée, la filière minérale est engagée à faire perdurer l'excellence française en matière de construction dans le respect des engagements de la France, au travers de la SNBC et de la RE2020.

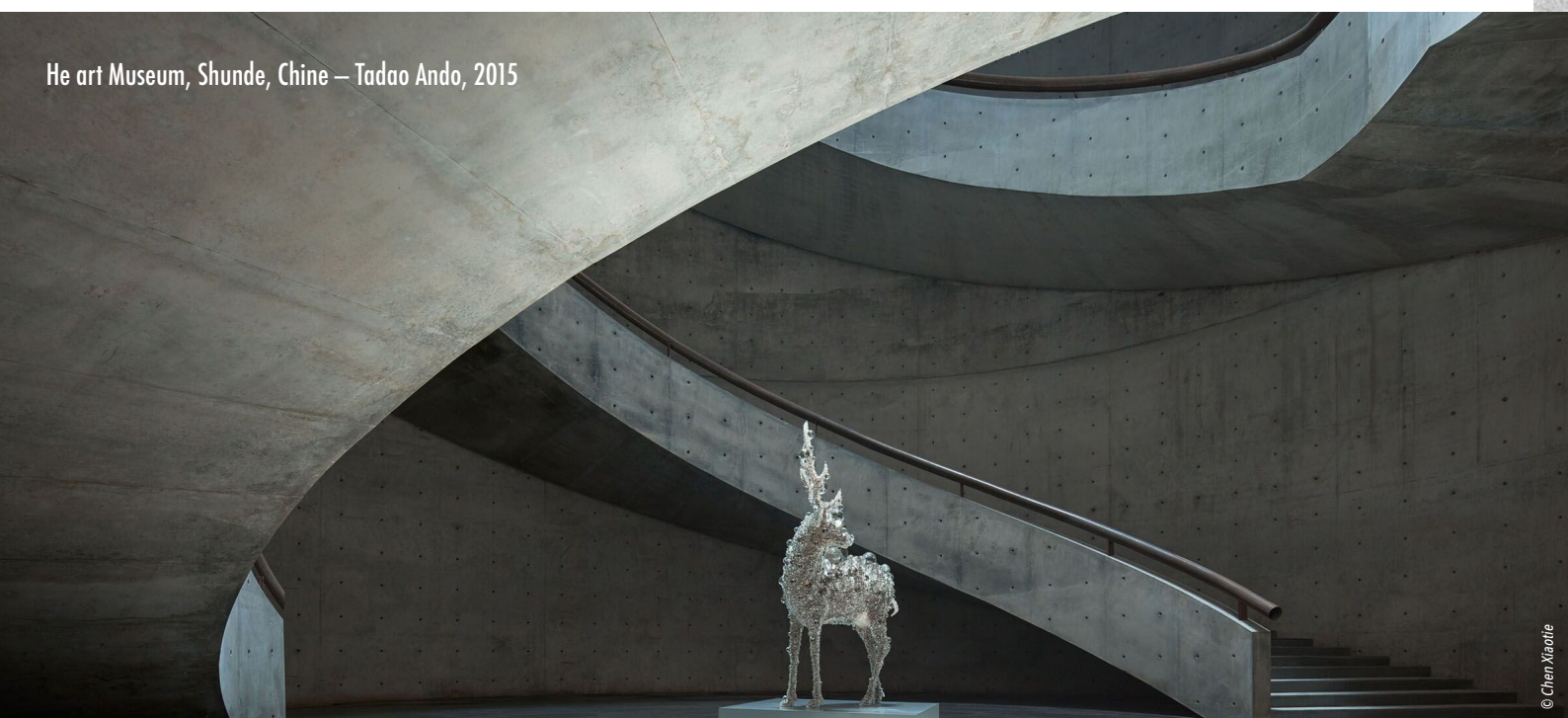
La filière minérale appelle à la **mobilisation de tous les acteurs de la construction** afin que les produits - ciment et béton à faible empreinte carbone - disponibles sur le marché et à venir, prennent une place de premier choix dans les constructions décarbonées futures. Tous soutiendront ainsi la dynamique engagée qui vise à accélérer les efforts vers la neutralité carbone du béton.

Les acteurs de l'aval sont invités à **s'informer** auprès des fournisseurs et en consultant les REX des bâtiments de référence. Les **parcours de formations et les outils** doivent évoluer pour, dès aujourd'hui, permettre de **concevoir et dimensionner** en intégrant les produits bas et « ultra bas carbone » et les nouveaux **modes constructifs** frugaux. **L'adoption des nouveaux bétons sur les chantiers** servira les enjeux environnementaux et permettra la neutralité carbone du gros œuvre en **2035**.

Le **béton est un allié prêt à accompagner les architectes et MO dans la transformation profonde de l'acte de construire** nécessaire pour atteindre les cibles ambitieuses de décarbonation du bâtiment. L'optimisation des installations en cimenterie, la structuration des filières connexes, l'intégration de l'intelligence artificielle pour l'éco-conception et l'adoption de modèles économiques innovants conduiront à une industrie de la construction en béton neutre en carbone.

Grâce aux progrès puissants dans la décarbonation du béton - actuels et dans un futur proche - le béton va pouvoir tenir toute sa place parmi les matériaux appréciés des architectes, ingénieurs et maîtres d'ouvrages.

He art Museum, Shunde, Chine – Tadao Ando, 2015



Base documentaire

Préface

La force de propositions et de solutions pour décarboner le secteur de la construction, SNBPE, septembre 2023

Feuille de route de décarbonation de la filière Ciment, Conseil national de l'industrie, mai 2023

Guide Réglementation environnementale RE2020, Ministère de la Transition Écologique, janvier 2024

Chapitre 1

Énergie dans les bâtiments, Ministère de la Transition Écologique, mai 2021

Energy Performance of Buildings Directive, Commission Européenne

Nearly zero-energy buildings, Commission Européenne

Feuille de route décarbonation du cycle de vie du bâtiment, Ministère de la Transition Écologique, janvier 2023

Plan Bâtiment Durable - CAP 2030, Ministère de la Transition Écologique

Le bâtiment, un secteur en première ligne des objectifs de neutralité carbone de la France en 2050, Carbone 4, janvier 2019

Norme ISO 14064-1 2018 (Nouveaux scopes d'émissions de GES)

INIES, la base de données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment et la RE2020

Level(s), European Framework for Sustainable Buildings, Commission Européenne

Construire Durable, SNBPE, 2024

Plan de transition sectoriel de l'industrie cimentière en France, Ademe, novembre 2021

Chapitre 2

Ciment, mémo d'analyse des enjeux de décarbonation du secteur, Ademe, 2021

L'empreinte carbone du béton, Infociments, juin 2022

Feuille de route de décarbonation de l'industrie cimentière, Infociments, juin 2023

<< Boîte à outils >> pour décarboner la construction béton, Cimbéton, Infociments, 2023

Norme NF EN 15804+A2

Les ciments "bas carbone" : de nouveaux mélanges ternaires, Infociments, mars 2022

Empreinte carbone des bétons, Eqiom, 2024

Réussir la construction décarbonée, Infociment, février 2024

Le béton bas carbone #1 Contribution pour un bâtiment bas carbone, SNBPE, CIMbéton, juin 2021

Stratégie nationale bas-carbone, Ministère de la Transition Ecologique, octobre 2020

Chapitre 3

Décarboner le béton, reportage cimalex, Neomag, juin 2019

Carbon capture, storage and utilisation, european commission, Commission Européenne

Le béton, un matériau recyclable... et recyclé, Infociments, avril 2018

Les modèles économiques de l'économie circulaire, circulab Academy, 2023

Optimisation structurelle : moins de béton pour moins d'impacts, lab recherche environnement, juin 2022

BFUP (Bétons Fibrés à Ultra hautes Performances), Infociments, avril 2018

Un béton plus vert grâce au graphène, Batiweb, mai 2018

Premier béton à partir d'Anthropocite®, Planète bâtiment, juin 2021

Vicat développe le premier liant zéro carbone, Vicat, janvier 2022

Bétons biosourcés : composants, formulations et usages, Infociments, juillet 2019

Incorporation des fines issues de granulats recyclés dans la fabrication de nouveaux liants hydrauliques, Lisa Oksri Nelfia, 2015

Captage du CO₂ dans les granulats recyclés, Infociments, juin 2019

Emprunte, un travail de décarbonation en trois dimensions, avril 2024

Chapitre 4

L'intelligence artificielle peut-elle contribuer à un bâtiment plus vertueux ?, Build Green, octobre 2023

© Tous droits réservés.



210 RUE GEILER DE KAYSERSBERG
PARC D'INNOVATION
67400 ILLKIRCH-GRAFFENSTADEN
<https://www.buildandconnect.eu/>