

Solutions béton

Vers le bâtiment à énergie positive et à faible empreinte carbone	P. 2
Nouvelle réglementation environnementale des bâtiments : quels objectifs ?	P. 3
Béton et réduction de l'empreinte carbone du bâtiment : compatibles depuis longtemps	P. 4
Renforcer désormais l'approche collaborative pour réduire l'impact environnemental	P. 6
L'offre de la filière béton pour réduire encore l'impact carbone du bâtiment	P. 8
Les spécificités de la préfabrication en béton	P. 11
Conclusion	P. 12



Bétons et empreinte carbone des bâtiments

Guide de recommandations et d'aide à la prescription à l'attention des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre

Le présent guide vise à accompagner la maîtrise d'œuvre pour atteindre ses objectifs de réduction de l'empreinte carbone globale des bâtiments. Il propose une méthodologie et décrit les principaux leviers d'actions dans le cas de systèmes constructifs en béton. Le maître d'œuvre pourra aussi prendre en compte les contributions du béton en termes de performances fonctionnelles, techniques et économiques dans le processus d'écoconception de son bâtiment et garantir l'atteinte de ses objectifs au maître d'ouvrage. ■



Vers le bâtiment à énergie positive et à faible empreinte carbone

Avec le label E+C- en cours d'expérimentation, les pouvoirs publics affichent une volonté claire d'aller vers le bâtiment à énergie positive et à faible empreinte carbone. Ainsi, les nouvelles constructions devront favoriser non seulement l'efficacité énergétique mais aussi la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et le déploiement des énergies renouvelables (EnR). L'objectif est également de réaliser les bâtiments neufs dans un modèle de développement local et d'économie circulaire.

Pour atteindre dès aujourd'hui les niveaux d'ambition qui seront fixés par une future réglementation, les acteurs de la construction sont à la recherche des solutions existantes, tant au niveau des produits de construction que des équipements. Pour la filière béton, comme pour les autres matériaux, l'enjeu est donc de répondre à une nouvelle exigence réglementaire liée à l'empreinte carbone des bâtiments tout en veillant à l'ensemble des autres exigences aux-

quelles un projet doit répondre. Il est à noter que la profession poursuit ses travaux pour réduire toujours plus l'empreinte carbone des solutions à base du matériau béton.

Un bâtiment doit prendre en compte un ensemble d'exigences, notamment réglementaires (résistance structurelle, feu, séisme, acoustique, qualité de l'air...), et spécifiques à l'ouvrage (intégration, lumière, espaces...) ainsi que des contraintes de mise

en œuvre. Dans ce contexte de prescription multicritères, sous contrainte d'un coût économique maîtrisé, il n'y aura pas une solution mais des solutions, en fonction du poids donné par le maître d'ouvrage à certains critères et des spécificités de l'ouvrage. Afin d'optimiser la réponse aux performances recherchées et aux exigences du maître d'ouvrage, il est donc nécessaire de bien identifier les différentes propriétés et bénéfices offerts par

le béton, ce qui permettra une utilisation appropriée par partie d'ouvrage, tout en atteignant les objectifs carbone. Pour cela, il est nécessaire d'introduire en amont du dépôt de permis de construire, tant lors de la phase de l'avant-projet sommaire (APS) que pendant la phase de l'avant-projet définitif (APD), des échanges associant l'industriel du béton et la maîtrise d'œuvre (architecte, bureaux d'études, économiste...). ■

Réduire l'empreinte carbone par des choix au stade de la conception

Dans le cadre de la réalisation d'un bâtiment, on peut envisager la réduction de l'empreinte carbone par des choix qui interviennent au stade de la conception de son ossature. Pour ce faire, plusieurs pistes existent en fonction de la destination du béton :

- La précontrainte (aujourd'hui plus facilement accessible pour des constructions courantes) permet de réduire mécaniquement le volume de matière mis en œuvre en s'appuyant sur l'évolution de la capacité de résistance à la compression du béton. Les planchers du parking Silo de l'Arlequin à Grenoble (GAP Architectes) ont été réalisés en précontrainte par post-tension sur site, ce qui est aujourd'hui encore peu fréquent en France pour des programmes de bâtiments courants.

- Une paroi en béton peut être conçue pour gérer elle-même son isolation thermique ou ses ponts thermiques. Soit par le matériau lui-même, soit par la conception de murs en béton à isolation intégrée. La conception des panneaux en Béton à Ultra Haute Performance de la crèche Budin à Paris (ECDM Architectes) tire parti de l'optimisation liée à l'utilisation du béton de Fibres (jusqu'à 150 MPa de résistance à la compression) pour inverser radicalement le rapport entre l'épaisseur d'isolant et l'épaisseur de béton (3 cm d'épaisseur de béton pour 20 à 30 cm d'épaisseur d'isolant...).

- Pour des constructions courantes (jusqu'à R+9), on constate souvent que l'épaisseur des éléments de structure, comme les voiles, est largement surdimensionnée pour des raisons essentiellement acoustique et thermique. On pourrait, par exemple, à épaisseur et masse de paroi maintenue, utiliser des granulats issus de matériaux de recyclage. Mais on pourrait également faire une économie de matière en optimisant davantage les éléments de structure.

Enfin, dans le cadre des projets de réhabilitation qui font partie intégrante de l'analyse bas carbone, il semble important de mentionner la souplesse offerte par les constructions en béton armé. Les techniques de renforcement permettent aujourd'hui de conserver et d'optimiser relativement simplement la performance de ces structures en béton tout en disposant des outils d'ingénierie pour analyser leurs performances thermiques et de résistance au feu. La réhabilitation du quartier de la Faisanderie à Fontainebleau (ELIET ET LEHMANN Architectes) illustre les possibilités de réutilisation de ces constructions emblématiques du XX^{ème} siècle.

Jean-Marc Weill, Architecte Ingénieur
C&E Architecture et Ingénierie



Photo : DR

Nouvelle réglementation environnementale des bâtiments : quels objectifs ?

Depuis de nombreuses années, la performance énergétique des bâtiments fait l'objet d'objectifs toujours plus ambitieux en termes de réduction des besoins de consommation d'énergie pour différents usages tels que le chauffage, la climatisation et l'eau chaude sanitaire. Après la réglementation thermique RT2005, renforcée en 2012, l'État a lancé un nouveau référentiel et un label « E+C » en vue d'expérimenter des niveaux de performance qui deviendront ceux d'une future réglementation environnementale. Un nouvel enjeu est ainsi introduit, celui de la maîtrise de l'analyse du cycle de vie des bâtiments^{1,2,3}. Le label « E+C » propose des niveaux d'exigences renforcés pour la consommation d'énergie par rapport à ceux de la RT 2012 et va jusqu'à viser des bâtiments



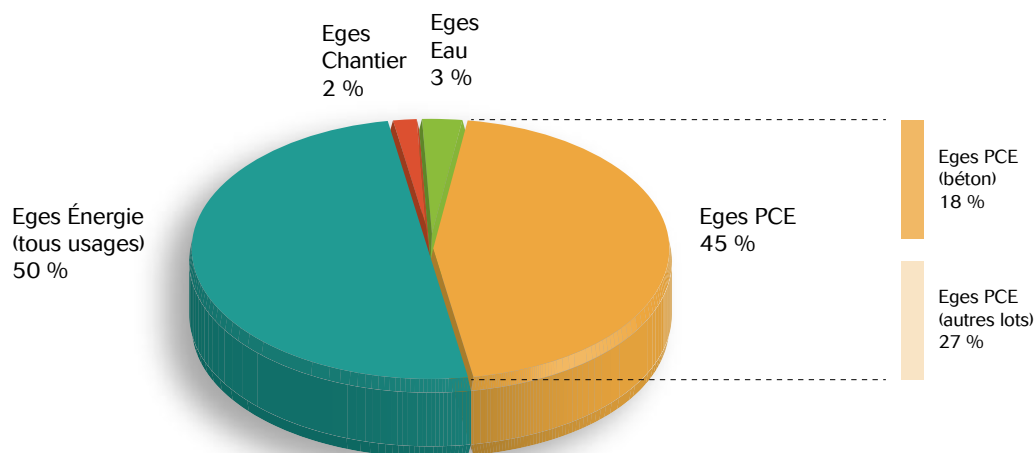
Photo : DR

→ Quartier de la Faisanderie à Fontainebleau : un exemple de réutilisation d'une construction emblématique.

Figure 1 : Part des produits de construction et équipements (PCE) et du béton sur l'Impact Eges global du bâtiment

Les chiffres présentés ci-dessous sont tirés d'une étude réalisée par le bureau d'études Tribu Énergie sur 2 bâtiments de logements collectifs : un R+4 de 13 logements et un R+7 de 27 logements. Les 2 bâti-

ments ont une compacité différente et un niveau de parking en sous-sol. Ils ont été déclinés avec différents systèmes constructifs, voile béton, bloc béton, CLT, brique, mixte bois-béton.



producteurs d'énergie (« Energie positive E+ »). Il choisit également de mettre l'accent sur la réduction de l'empreinte carbone du bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie, c'est-à-dire depuis sa construction jusqu'à sa démolition (« Réduction Carbone C »). La durée d'étude conventionnelle a été fixée à 50 ans.

Parmi tous les indicateurs environnementaux, la priorité est donc aujourd'hui donnée aux émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'échelle globale du bâtiment, notées Eges et exprimées en kg éq. CO₂/m², les m² se rapportant à la surface de plancher (SDP). Cet indicateur est accompagné d'un

indicateur spécifique qui permet d'évaluer les émissions de GES relatives aux produits de construction et équipements (PCE) constituant le bâtiment, Eges PCE, également exprimé en kg éq. CO₂/m² SDP. Pour donner un ordre d'idée, l'indicateur spécifique Eges PCE représente en moyenne 45 % de l'indicateur global Eges d'un bâtiment sur une durée conventionnelle d'étude de 50 ans (**figure 1**). Pour un bâtiment courant, le matériau béton utilisé en infrastructure et superstructure représente entre 30 et 50 % de l'indicateur Eges PCE, i.e. en moyenne 18 % des émissions globales (avec une fourchette allant de 15 à 25 %). ■

(1) Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer – Ministère du logement et de l'habitat durable, Référentiel « Energie-Carbone » pour les bâtiments neufs ; Méthode d'évaluation de la performance énergétique et environnementale des bâtiments neufs, Octobre 2016, Erratum du 23.11.2016, Erratum du 21.12.2016.

(2) Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer – Ministère du logement et de l'habitat durable, Référentiel « Energie-Carbone » pour les bâtiments neufs ; Niveaux de performance « Energie-Carbone » pour les bâtiments neufs, octobre 2016.

(3) Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer – Ministère du logement et de l'habitat durable, Construire ensemble la réglementation énergétique et environnementale du bâtiment, Dossier de Presse, 17 novembre 2016.

Béton et réduction de l'empreinte carbone du bâtiment : compatibles depuis longtemps

Il n'y a pas de solution unique pour réduire l'empreinte carbone des bâtiments et, plus largement, pour réduire l'empreinte carbone de nos sociétés sur l'environnement. Pour sa part, la filière béton œuvre depuis longtemps pour améliorer son empreinte carbone et, plus généralement, ses performances environnementales pour apporter des solutions visant à agir sur l'efficacité énergétique des bâtiments.

ECONOMIE CIRCULAIRE ET RÉDUCTION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL : LA FILIÈRE AGIT !

Ces trois dernières décennies, la valorisation de déchets issus d'autres filières industrielles a été au cœur de la démarche de réduction de l'empreinte carbone, tant sur les procédés que sur les produits. L'industrie cimentière a ainsi développé l'usage de combustibles alternatifs et a élargi la gamme des ciments aux ajouts à côté du traditionnel ciment Portland. Le projet d'Engagement pour la Croissance Verte relatif à la valorisation des déchets de biomasse en cimenterie, le « Green deal de l'industrie cimentière » qui sera signé fin 2017, constitue l'action la plus récente de cette démarche.

S'agissant du béton, la norme béton (NF EN 206/CN) a permis de substituer progressivement au ciment des additions coproduites par d'autres industries (cendres volantes, fumées de silice, laitier moulu), des additions calcaires ou siliceuses ou encore des métakaolins.

Ces évolutions, validées par le corpus normatif européen des ciments et des bétons, offrent des performances et une durabilité identiques, à coût maîtrisé et avec un impact environnemental réduit. Par ailleurs, la filière béton pilote le projet national RECYBETON qui

vise à développer la part de bétons de déconstruction valorisée dans des nouveaux bétons ou dans le ciment. Ce projet offrira, à terme, de nouvelles opportunités de valorisation matière.

En outre, dans un objectif de transparence, la profession s'est très tôt investie pour informer ses interlocuteurs des impacts environnementaux des bétons, quels qu'ils soient. Elle a d'abord mis en ligne des Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires (FDES) pour plusieurs types de bétons usuels et de produits. Elle a ensuite publié l'étude QEB (Qualité Environnementale des Bâtiments)¹. Par ailleurs, la profession du béton prêt à l'emploi a créé, en 2011, le logiciel BETie « Béton et Impacts Environnementaux », le premier outil de calcul des impacts environnementaux des bétons prêts à l'emploi. BETie permet, entre autres, la création de FDES sur-mesure dans le cadre d'un projet spécifique. L'outil répond aujourd'hui aux exigences les plus récentes des normes NF EN 15804+A1 et NF EN 15804/CN. De plus, BETie a été vérifié par un organisme de certification agréé par l'AFNOR. Quant aux produits préfabriqués en béton, il y a,

à ce jour, plus de 50 FDES dans la base INIES.

(1) Documents B56 et B57 de la collection technique CIMbéton disponibles en ligne sur www.infociments.fr.

Lutter contre les idées reçues

Les démarches de la filière, initiées depuis plus de 30 ans, ont d'ores et déjà permis de réduire l'empreinte carbone des ouvrages en béton de l'ordre de 30 %. Par exemple, en comparant un béton armé formulé avec un dosage en ciment CEM I de 350 kg/m³, ayant une empreinte carbone de 400 kg éq. CO₂/m³, à un béton armé formulé avec un dosage en ciment CEM II/A-LL de 280 kg/m³, ayant une empreinte carbone de 285 kg éq. CO₂/m³, pour un taux de ferrailage identique.

L'actuelle évolution de la réglementation et des attentes des maîtres d'ouvrages conduit la filière béton à prolonger ses démarches et à apporter des éléments quantifiés et objectifs sur l'empreinte carbone des ouvrages en béton.



Photo : DR

→ Programme Éléman à Saint-Julien-en-Genevois réalisé par Sogimm. Bâtiment calculé par niveau de performance Energie Carbone (selon référentiel 2016) : E3C1.

OPTIMISATION DE L'EMPREINTE CARBONE : LES BÉNÉFICES APPORTÉS PAR LE BÉTON

PAR LE MATÉRIAU BÉTON

Le béton permet une optimisation de l'empreinte carbone du bâtiment sur son cycle de vie. Au-delà de cette performance, rappelons que le béton fait partie intégrante de notre quotidien parce qu'il est le seul matériau capable de procurer un rapport avantages/coût aussi élevé tout en étant doté de nombreux atouts. En effet, le béton :

- offre résistance, durabilité, longévité (> 100 ans) et résilience inégalées,
- maximise l'efficacité énergétique par l'inertie thermique,
- facilite la réhabilitation thermique,
- permet d'assurer une bonne étanchéité à l'air,

- est durable dans tous les environnements,
- ne brûle pas ne rouille pas et ne pourrit pas,
- offre sûreté et sécurité (résistant aux catastrophes de type incendies, séismes, inondations),
- n'émet pas de COV,
- procure une excellente isolation acoustique, également dans les basses fréquences,
- nécessite peu d'entretien,
- est 100 % recyclable, est issu d'une filière de proximité et de matériaux locaux. Son ancrage territorial crée de l'activité et des richesses,
- est polyvalent – il épouse toutes les formes, couleurs, motifs et

L'architecture Low Tech, adaptée au climat méditerranéen et aux pics de canicule

Depuis près de 20 ans, nous avons conçu des quartiers de ville et des bâtiments adaptés aux conditions climatiques méditerranéennes.

Pour ce faire, avec Alain Bornarel de Tribu Energie, nous avons mis en place une stratégie climatique qui s'articule autour de trois axes :

1 – mettre en avant un aménagement urbain qui, dans sa morphologie, prendra en compte les éléments climatiques tels que le soleil, les vents dominants, etc., ce qui permet de lutter contre le phénomène de l'îlot de chaleur urbain.

2 – construire des bâtiments à forte inertie thermique et, pour ce faire, privilégier l'isolation thermique par l'extérieur. Les structures en béton (mur et plancher) confortent cette inertie très performante. La technique du pré-mur avec isolation thermique intégrée permet d'offrir une enveloppe extérieure béton.

3 – favoriser la ventilation naturelle des bâtiments et protéger impérativement les baies vitrées de toute incidence solaire.

Cette conception, complétée par d'autres dispositions comme, par exemple, la végétalisation des sols extérieurs, permet d'offrir des bâtiments qui peuvent se passer de climatisation.

Ce sont des concepts relativement simples à mettre en œuvre et basés sur la réflexion des architectes urbanistes et ingénieurs. Cela exclut tout dispositif technique sophistiqué, cher à l'investissement et coûteux à entretenir.

Pierre Tourre

Agence Tourre Sanchis Architectes



Photo : Mauro Sinistaj

1^{ER} LEVIER : PENSER « STRUCTURE ACTIVE »

Les systèmes constructifs proposés en BPE et en préfabrication permettent de réaliser des ouvrages économes en équipements techniques. En particulier, une conception optimisée de la structure, valorisant l'inertie thermique du béton, permet de réduire significativement le recours aux équipements de climatisation.

Le bénéfice environnemental est généré par :

- l'absence (ou une réduction du nombre) d'équipements de génération de froid, diminuant donc l'impact environnemental lié à la production, au transport, à l'installation de ces équipements,
- une consommation annuelle d'énergie diminuée,
- une maintenance réduite et l'absence de renouvellement de ces équipements.

Par ailleurs, la non (ou une plus faible) utilisation de fluides frigorigènes (et des fuites attachées) permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre attachées (les fluides frigorigènes ayant un pouvoir de réchauffement global important).

L'étude sur la qualité environnementale des bureaux dans le cadre de la RT 2012 avait montré que l'absence de systèmes de climatisation permettait de réduire de 30 % les émissions de CO₂ en phase d'exploitation.

cohabite harmonieusement avec les autres matériaux,

- peut être préfabriqué en usine et assemblé ensuite (chantier plus propre, réduction des délais de construction).

- est pérenne, central et indispensable dans des associations mixtes avec d'autres matériaux.

PAR LE SYSTÈME CONSTRUCTIF

En réponse aux différentes évolutions technologiques et réglementaires, la filière béton a su développer de nombreuses innovations pour maximiser les bénéfices intrinsèques du matériau. Certaines, comme les bétons fibrés, les bétons à hautes performances, voire à ultra hautes performances, ainsi que certains produits préfabriqués industrialisés, permettent d'optimiser le dimensionnement des structures et de rationaliser l'utilisation des ressources naturelles. Elles per-

mettent également d'allonger les portées pour faciliter la reconfiguration future des espaces intérieurs quand ces derniers sont assignés à de nouvelles fonctionnalités.

D'autres innovations contribuent encore plus efficacement à la réduction des besoins énergétiques du bâtiment et, par conséquent, à la réduction de l'empreinte carbone de celui-ci.

Notons par exemple :

- Les dalles actives et les chapes autonivelantes qui, grâce à l'inertie thermique du béton, emmagasinent l'énergie d'un système de chauffage/rafraîchissement intégré, laquelle est restituée au bâtiment selon les fluctuations de température,

- Les prédalles, éléments de coffrage en béton armé qui intègrent la majorité des aciers porteurs nécessaires à la résistance des planchers, peuvent être adaptées selon les

exigences (degré coupe-feu, parasismique, traitement des ponts thermiques périphériques, ...).

■ Les **blocs à joints minces** procurent une meilleure performance thermique tout en réduisant la consommation de matières premières et la consommation d'eau sur chantier. Ils réduisent également les déchets et la pénibilité,

■ Les **systèmes de blocs isolants** et **pannelles isolantes**, déclinés en une variété de produits et pour différents niveaux d'isolation ther-

mique (bloc de pierre ponce, de granulats légers expansés, de mousse minérale expansée ou encore bloc cellulaire),

■ Les **bétons à propriétés isolantes structureaux**, destinés aux voiles de façades et pignons de bâtiment avec isolation rapporté par l'intérieur (ITI). Développés en réponse aux exigences de la RT 2012, ils permettent de traiter efficacement les ponts thermiques de liaison entre les façades et les planchers intermé-

diaires sans utiliser de rupteur de pont thermique. En plus de contribuer à la réduction de la facture énergétique du bâtiment, ils permettent aussi de simplifier la mise en œuvre,

■ Les **blocs coffrants isolants** (blocs isolants remplis de béton pompé) qui assurent à la fois la fonction structurelle et l'isolation des murs. Ces systèmes, très performants sur le plan de l'isolation, suppriment tout pont thermique et

garantissent une très bonne perméabilité à l'air,

■ Les **murs à coffrages intégrés** (MCI), qui constituent une offre industrielle sur-mesure et qui conjuguent ergonomie de travail, sécurité intégrée et optimisation des délais de chantier. En ayant recours à l'isolation intégrée, cette solution permet de traiter tous les ponts thermiques de l'enveloppe du bâtiment,

■ Les **systèmes de bardage** rapporté pour isolation thermique des façades par l'extérieur.

Renforcer désormais l'approche collaborative pour réduire l'impact environnemental

INTÉGRER LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DÈS LA CONCEPTION DES BÂTIMENTS

Suivant l'évolution réglementaire et les enjeux de l'analyse du cycle de vie du bâtiment, les concepteurs de bâtiments devront pousser davantage les réflexions en phase d'avant-projet : quelles seront les surfaces réellement nécessaires, quelle source d'énergie utiliser, vaut-il mieux construire ou réhabiliter ?

Le béton, matériau durable par excellence, permet de conserver le gros œuvre et de donner une seconde vie au bâtiment.

Dans les constructions neuves, le béton rendra d'autant plus service si ses différentes propriétés et bénéfiques, dont l'inertie thermique, la qualité de l'air intérieur et la capacité à prolonger la durée d'usage, sont exploités de manière globale dès le début des études. Cela nécessite toutefois une collaboration plus étroite entre les différents acteurs du

projet (bureaux d'études structure, acoustique, environnement, ...).

Du besoin exprimé par le maître d'ouvrage à l'avant-projet définitif, les thématiques à aborder sont nombreuses. Dans l'optique d'utiliser les systèmes constructifs les plus adaptés, la méthodologie proposée pour aider la maîtrise d'œuvre à optimiser sa conception et à atteindre ses objectifs de réduction de l'empreinte carbone globale des bâtiments est la suivante :

1 **Élaboration du cahier des charges réglementaire** : dispositions liées à la localisation du projet,

2 **Définition des objectifs Energie & Carbone**. Concernant l'empreinte carbone, le maître d'œuvre devra préciser pour le projet le ou les référentiels retenus. Ceux-ci vont conduire à une exigence pour le bâtiment dans son ensemble

Le référentiel E+C⁻ concerne aussi les bâtiments recevant du public.

« En tant que filiale de la SNCF, Arep s'engage activement pour améliorer la performance environnementale des gares, soumise à la RT 2012, et applique la nouvelle réglementation sur l'exemplarité énergétique des bâtiments publics.

Le référentiel E+C⁻ est un réel progrès par rapport à la RT2012 puisqu'il ajoute un volet carbone matériaux au volet énergétique/thermique. Nous devons donc trouver des solutions pour réduire l'empreinte carbone des gares. Le choix des matériaux de construction est essentiel dans cette réflexion. Le béton est largement utilisé sur nos projets afin de répondre aux exigences structurelles (par exemple : pour des souterrains) et architecturales. Nous sommes donc extrêmement intéressés par le développement des bétons qui peuvent contribuer à réduire l'empreinte carbone de nos bâtiments. En agissant sur les filières d'approvisionnement des agrégats, sur l'énergie nécessaire à la fabrication du ciment, sur l'impact lié au transport et sur la gestion en fin de vie des bétons, nous voyons de belles opportunités de voir réduire l'empreinte carbone de nos ouvrages. Enfin, le choix judicieux des classes d'exposition du béton peut être un levier pour optimiser l'impact carbone. Pour respecter le référentiel E+C⁻, architectes et ingénieurs doivent travailler en étroite collaboration, depuis les phases amont et être vigilants sur l'impact environnemental de chaque lot du bâtiment. »

Léonard HAMBURGER

Responsable adjoint à la Direction de l'architecture d'AREP

mais aussi et pour la partie produits de construction et équipements (qui s'exprimera en valeur maximale pour l'empreinte carbone en kg éq. CO₂/m² SDP),

3 Évaluation de la durée de vie attendue de la structure et de l'enveloppe du bâtiment, si celle-ci est supérieure à 50 ans,

4 Spécifications fonctionnelles du bâtiment : modularité, réversibilité, lumière, espaces, etc.,

5 Considération des différentes options pour un meilleur confort

de vie (isolation acoustique, isolation thermique, système de chauffage/rafraîchissement, protection incendie, etc.),

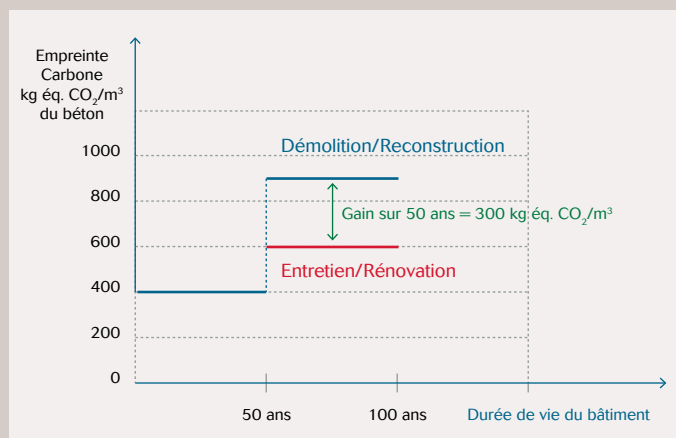
6 Considération des différentes contraintes de chantier (accès, construction en limite de propriété, durée des travaux, etc.),

7 Étude des solutions constructives en béton prêt-à-l'emploi et/ou préfabriquées en béton,

8 Prise en compte de la durabilité par l'identification des classes d'exposition des parties

2^{ÈME} LEVIER : CONCEVOIR BÂTIMENT DURABLE

Un bâtiment pensé pour une durée de vie de plus de 50 ans, tant au niveau structurel qu'au niveau de sa maintenance et de son confort d'utilisation, permet de faire des gains environnementaux de l'ordre de 30 % :



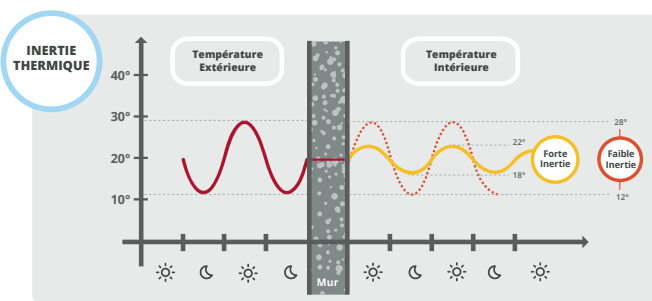
Rapporté au volume total de béton dans l'ouvrage (m³), la réhabilitation d'un bâtiment en béton est non seulement simple à mettre en œuvre, notamment au niveau des modifications des ouvertures, de l'étanchéité, etc., mais elle facilite également la valorisation patrimoniale par la capacité portante intrinsèque de la structure béton (surélévation-extension de bâtiment, ajout de toitures végétalisées, etc.).

Rappel HQE/bâtiment durable

« En interaction avec son territoire, un bâtiment durable est un ouvrage qui offre une bonne qualité de vie, qui respecte l'environnement et qui apporte performance énergétique et environnementale¹ ».

Le béton a une durée de vie supérieure à 100 ans, soit bien supérieure à la durée de vie désormais conventionnelle de 50 ans, ce qui permet de projeter une durée d'usage prolongée pour le bâtiment, en accord avec le respect de l'environnement. En phase de conception, il faut créer les conditions optimales pour réduire l'empreinte carbone du bâtiment et faciliter sa métamorphose future, si celle-ci s'avère un jour nécessaire. Grâce à sa résilience et son inertie thermique, le bâtiment en béton saura s'adapter plus facilement aux changements climatiques.

(1) Le bâtiment durable pour tous, HQE association, mai 2015.



d'ouvrages (fondation, planchers, murs, ...),

9 Optimisation structurelle des parties d'ouvrages (ferrailage, épaisseur, section),

10 Vérification de la disponibilité et de la validité des données environnementales (voir FDES dans INIES),

11 Solutions béton prêt à l'emploi : choix des bétons pour répondre à l'objectif carbone (vérification de l'offre et disponibilité locale).

L'une des finalités de la méthodologie proposée est de permettre un choix optimal des matériaux ou systèmes en fonction des exigences de l'ouvrage et des objectifs spécifiques du maître d'ouvrage.

Pour les fournisseurs de béton et de produits préfabriqués en béton, il est important de procéder à une revue de l'ensemble du cahier des charges avec le client pour échanger sur cette analyse du besoin global et sur la façon d'y répondre.

INTÉGRER LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX À LA PRESCRIPTION DES BÉTONS ET DES PRODUITS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON

Dans la phase de conception, pour les matériaux ou systèmes constructifs à base de béton, trois leviers principaux sont à considérer pour optimiser l'empreinte carbone et répondre aux seuils

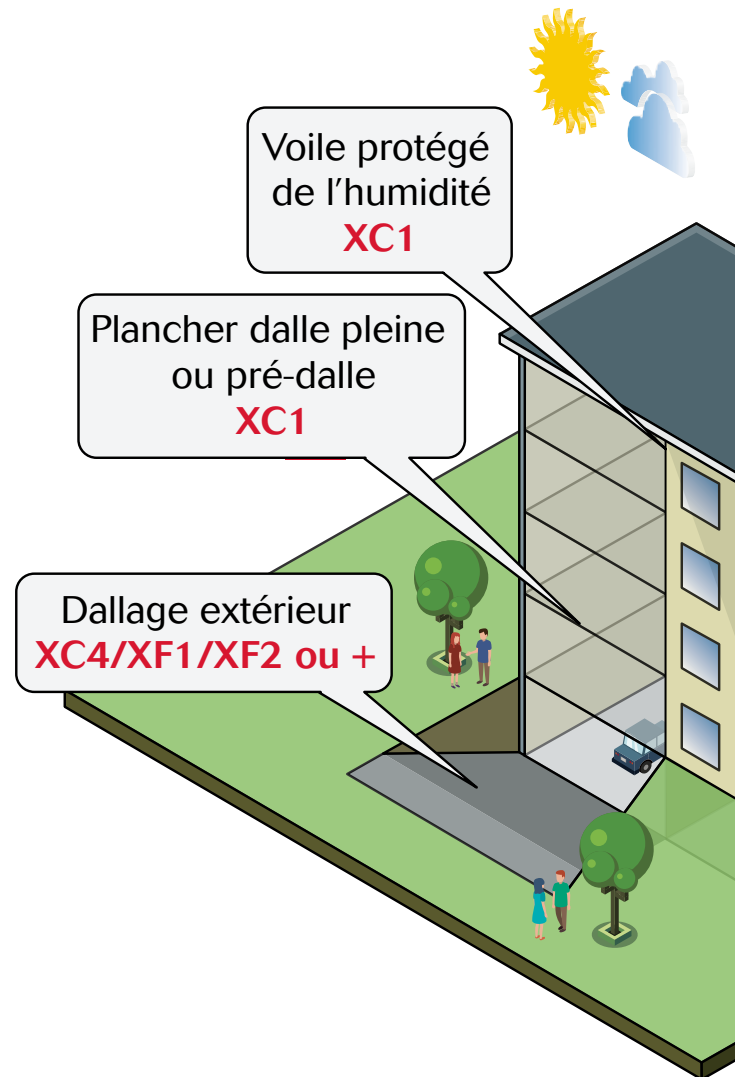
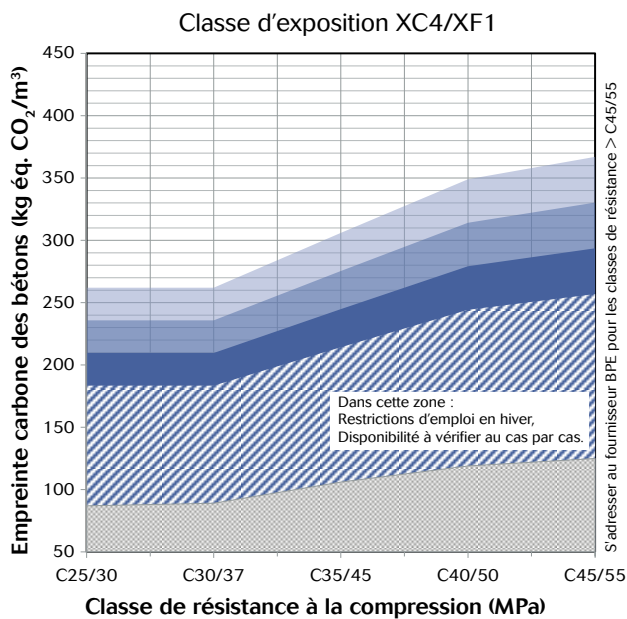
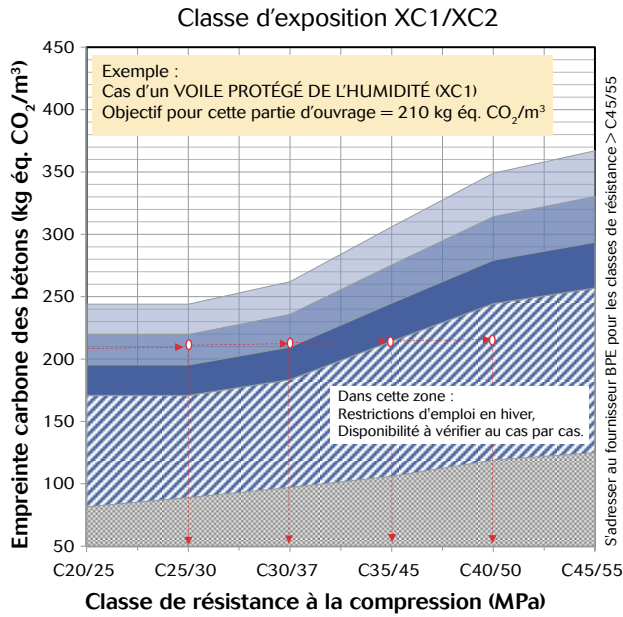
fixés : le choix des classes d'exposition appropriées, le choix de structures optimisées et enfin le choix du type de béton.

■ **Le choix de la classe d'exposition** : les classes d'expo-

sition du béton, définies dans la norme NF EN 206/CN, permettent de garantir la durabilité des ouvrages en béton en fonction du milieu dans lequel se trouve le béton (sec, humide...)

et des types d'agression (sels, gel-dégel...). La classe d'exposition détermine la formulation des bétons, notamment le dosage minimal en liant. Le choix approprié de la classe d'exposition est

Empreinte carbone d de la classe d pour les principales

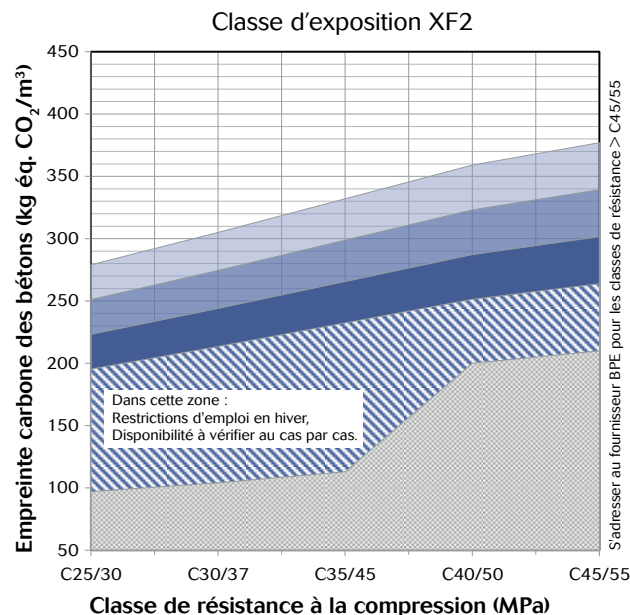
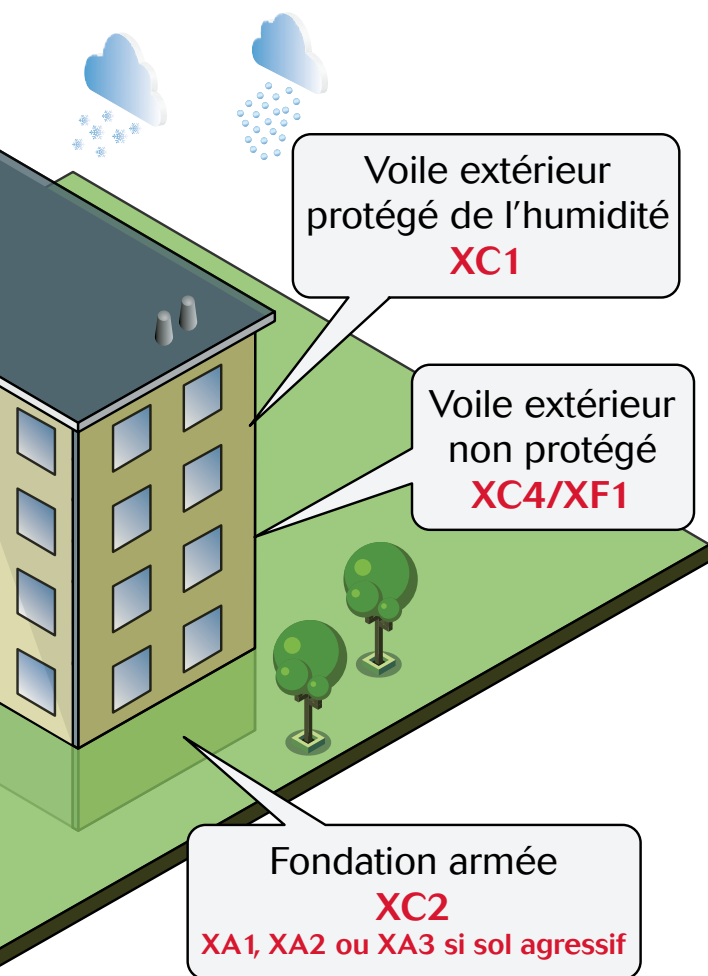


Légendes :

Effort de réduction de l'empreinte carbone

- Jusqu'à - 10 %
- Entre - 10 % et - 20 %
- Supérieur à - 20 %
- ▨ Restrictions d'emploi (> - 30 %)
- ▩ Hors limites normatives

les bétons en fonction de la résistance et des expositions courantes



Exemples de classes d'exposition pour les principales parties d'ouvrage d'un bâtiment

Classes d'exposition	Applications en bâtiments
XC1	Parties de bâtiment à l'abri de la pluie Planchers, dalles Voiles protégés de l'humidité
XC2	Parties de bâtiment au contact de l'eau à long terme Un grand nombre de fondations
XC4	Parties extérieures des bâtiments non protégées de la pluie (façades, pignons... avec peinture ou simple enduit) Voiles extérieurs
XF1	Parties de bâtiment soumises à un gel faible ou modéré, avec pas ou peu de salage Voiles extérieurs
XF2	Parties de bâtiment soumises à un gel faible ou modéré, avec salage Rampes extérieures
XA1/XA2/XA3	Ouvrages exposés aux attaques chimiques des sols ou des eaux de surfaces et souterraines (fondations, dallages...). Agressivité faible, modérée ou forte, selon les caractéristiques chimiques : pH, sulfate... (Cf. tableau 2 de la norme NF EN 206/CN)

donc un levier d'optimisation du bilan carbone.

■ **Le dimensionnement des éléments en béton** : sauf s'il répond à un objectif spécifique, le choix de structures optimi-

sées (par exemple voiles de 18 plutôt que de 20 cm) permettra d'optimiser le bilan carbone tout en réalisant une économie sur la quantité de matériau. Il sera d'abord avantageux d'affiner les

éléments projetés, tant sur le plan du dimensionnement (optimisation des sections) que du renforcement (optimisation des pourcentages d'acier d'armature).

■ **Le type de béton** : pour un béton présentant des propriétés spécifiées identiques (classe d'exposition, résistance, consistance), le bilan carbone du béton est susceptible de varier en fonction de la formulation et du producteur. Mais le choix du type de béton devra aussi se faire en

fonction des exigences liées à la mise en œuvre, notamment celles liées de temps de décoffrage des ouvrages.

La filière béton a pour mission d'accompagner la maîtrise d'œuvre quant au choix du béton et des produits préfabriqués en béton répondant aux exigences de durabilité (classes d'exposition, résistance, consistance de mise en œuvre, etc.), auxquelles s'ajoutent aujourd'hui les exigences environnementales.

3^{ÈME} LEVIER : CHOISIR LE BON BÉTON AU BON ENDROIT

Pour un bâtiment donné, le choix des classes d'exposition appropriées et l'optimisation structurelle en phase conception représentent, à eux seuls, un gain de près de 10 % de l'empreinte carbone du béton.

L'offre de la filière béton pour réduire encore plus l'impact carbone du bâtiment

La filière béton peut proposer une solution pour chaque cas particulier. Cette réponse prendra en compte tous les besoins exprimés, incluant les critères de la norme NF EN 206/CN (classe d'exposition, résistance, consistance...), et en y ajoutant le nouveau critère de l'empreinte carbone du béton.

LE CHOIX DE LA CLASSE D'EXPOSITION

Concernant la durabilité, elle est encadrée par la norme Béton NF EN 206/CN. Le maître d'œuvre indique d'abord la (ou les) classe(s) d'exposition traduisant l'environnement auquel est soumis le béton pendant toute sa durée de vie (**Figure 2 et Tableau 1**) et la (ou les) classe(s) de résistance du béton. Pour chaque classe d'exposition, la norme impose différents critères sur la nature des constituants (type de ciment, de granulats, d'additions, etc.) ou sur la composition du béton (teneur minimale en ciment ou liant équivalent, rapport maximal « Eau efficace/liant équivalent », taux de substitution maximal du ciment par une addition « A/(A+C) max », teneur minimale en air entraîné, etc.).

Les classes d'exposition et de résistance influent directement sur l'empreinte carbone du bâtiment.

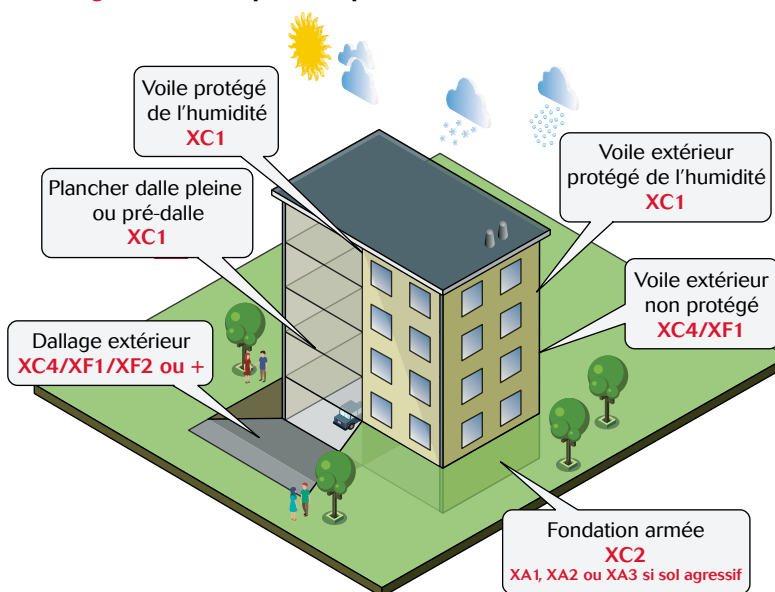
Par conséquent, la prescription d'une classe d'exposition adaptée à chaque partie d'ouvrage plutôt que l'utilisation d'un béton « unique »

peut permettre des gains significatifs au niveau du bilan carbone.

A titre d'illustration, en prenant le cas d'un bâtiment de 21

logements en R+2 (étude SNPB « Pompage en logements neufs »), pour une même classe de résistance (C25/30), le choix des

Figure 2 : Principales expositions courantes des bétons¹



(1) Guide d'utilisation de la norme NF EN 206-1 du SNBPE

Tableau 1 : Exemples de classes d'exposition pour les principales parties d'ouvrage d'un bâtiment

Classes d'exposition	Applications en bâtiments
XC1	Parties de bâtiment à l'abri de la pluie Planchers, dalles Voiles protégés de l'humidité
XC2	Parties de bâtiment au contact de l'eau à long terme Un grand nombre de fondations
XC4	Parties extérieures des bâtiments non protégées de la pluie (façades, pignons... avec peinture ou simple enduit) Voiles extérieurs
XF1	Parties de bâtiment soumises à un gel faible ou modéré, avec pas ou peu de salage Voiles extérieurs
XF2	Parties de bâtiment soumises à un gel faible ou modéré, avec salage Rampes extérieures
XA1/XA2/XA3	Ouvrages exposés aux attaques chimiques des sols ou des eaux de surfaces et souterraines (fondations, dallages...). Agressivité faible, modérée ou forte, selon les caractéristiques chimiques : pH, sulfate... (Cf. tableau 2 de la norme NF EN 206/CN)

classes XC1/XC2 pour les fondations et planchers (171 m³) et XF1 pour les voiles de refends et façades (129 m³), plutôt qu'une

classe unique XF1, permet d'abaisser l'empreinte carbone du béton de 4 %.

LE CHOIX DE STRUCTURES OPTIMISÉES

De même, à partir de la **Figure 2**, optimiser le dimensionnement des structures en réduisant, par exemple, l'épaisseur des voiles de refends et de façades de 20 cm à 18 cm réduit l'empreinte carbone

des structures en béton du projet de 5 %.

Par conséquent, la recherche de structures optimisées peut permettre, elle aussi, des gains significatifs au niveau du bilan carbone.

L'OFFRE DU BÉTON PRÊT-À-L'EMPLOI : LE CHOIX DU TYPE DE BÉTON

La modification de la nature du liant est le levier permettant d'agir le plus significativement sur l'impact carbone d'une formule de béton. L'utilisation de ce levier est possible dans le cadre de la norme NF EN 206/CN soit par l'utilisation de ciments de type CEM II, CEM III, etc., soit par l'utilisation d'additions en substitution partielle d'un ciment de type CEM I ou CEM II/A. Ces formulations qui permettent de réduire l'empreinte carbone du béton jusqu'à 20 %, voire même plus selon la disponibilité locale des liants (**voir encadré ci-contre**), offrent les mêmes qualités de durabilité et de résistance à 28 jours que les bétons formulés à base de CEM I. Toutefois, lorsque l'effort de réduction de l'impact carbone est supérieur à 30 %, ces bétons pourront typiquement être sujets à des restrictions d'emploi en hiver, car certaines propriétés du béton se trouveront modifiées avec des conséquences sur les conditions d'utilisation (**voir encadré ci-contre**). En effet, les critères de performances techniques et celui de l'empreinte carbone sont sou-

vent concurrents. Ainsi, la nature du liant influe en particulier sur les résistances à court terme qui, elles, conditionnent les délais de décoffrage. Cette contrainte est particulièrement sensible en période

hivernale. La nature du liant pourra également influencer sur les parements et la mise en œuvre d'une cure de protection pourra être nécessaire. Ces aspects, purement techniques mais dont les consé-

quences économiques peuvent s'avérer importantes, relèvent de l'expertise des producteurs de béton et de leurs services qualité. En matière de liants, les solutions sont multiples pour réduire



→ Programme Botticelli à Sathonay-Camp réalisé par ARCOLE Développement. Bâtiment calculé par niveau de performance Energie Carbone (selon référentiel 2016) : E3C1. 48 logements, un pôle petite enfance en rez-de-chaussée, un sous-sol de 60 garages.

Pour un effort de réduction de l'empreinte carbone supérieur à 30 %, il faut vérifier les disponibilités locales et tenir compte des exigences suivantes :

- la rhéologie/maniabilité du béton,
- l'adaptation aux conditions climatiques (hiver),
- la résistance au jeune âge (rotation des banches),
- le temps de cure du béton,
- la qualité du parement.

Tableau 2 : Empreinte carbone du béton en fonction de l'effort de réduction appliqué à la formulation – exemples d'applications, à titre indicatif

Exemple d'application		Plancher intérieur/ Fondation	Voile extérieur non protégé de la pluie		Fondation (sol sulfaté)
Classe d'exposition et choix des classes de résistance du béton		XC1/XC2 C20/25	XC4/XF1 C25/30	XF1 C60/75	XA3 C40/50
Effort de réduction de l'empreinte carbone en kg éq. CO ₂ /m ³	Référence *	240	255	380	330
	Jusqu'à - 10 %	215 - 240	230 - 255	340 - 380	295 - 330
	Entre - 10 % et - 20 %	190 - 215	205 - 230	305 - 340	265 - 295
	Supérieur à - 20 %**	< 190	< 205	< 305	< 265

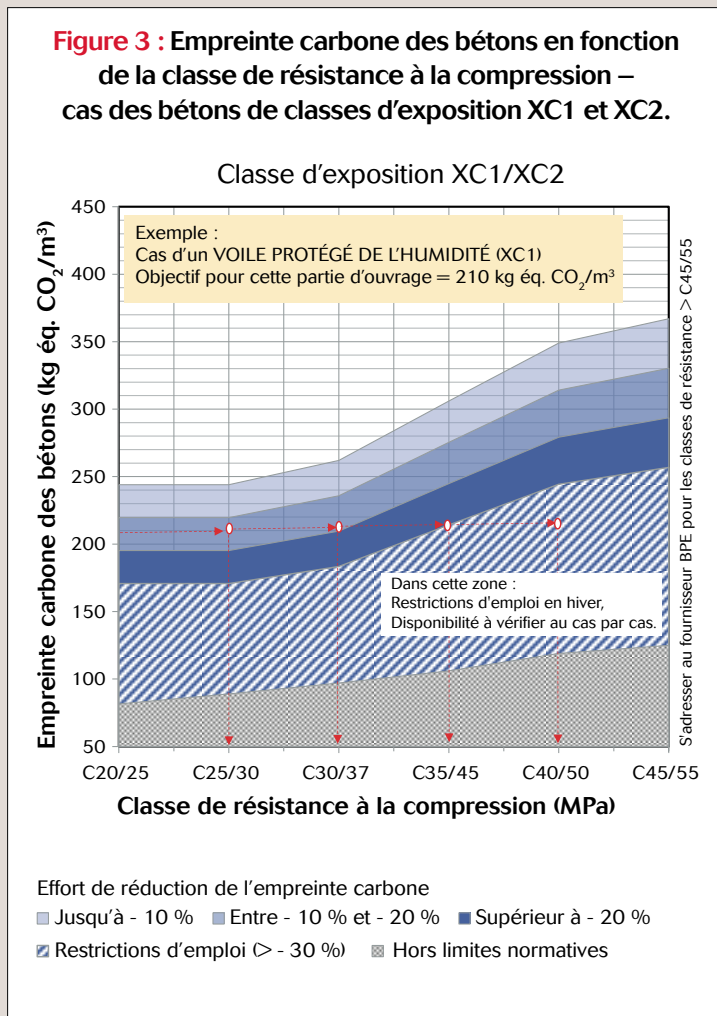
(*) Bétons conformes aux spécifications de la norme NF EN-206/CN, formulés en CEM I

(**) Solutions non disponibles sur l'ensemble du territoire et soumises à des restrictions d'emploi en hiver

Tableau 3 : Présentation des métrés pour faciliter la génération des FDES – exemple pour un plancher

Partie ouvrage	Nombre d'unités fonctionnelles (ml, m ² , ...)	Dimensions de la section	Quantité d'acier (kg)	Quantité de béton (m ³)	Type de béton (Classe d'expo et classe de résistance)	Mode de mise en place du béton
Plancher	500 m ²	Épaisseur 0,15 m	50	75	XC1, C25/30	pompage

Figure 3 : Empreinte carbone des bétons en fonction de la classe de résistance à la compression – cas des bétons de classes d'exposition XC1 et XC2.



l'empreinte carbone du béton et les questions de disponibilité géographique des matières premières, les facilités logistiques ou les périodes d'utilisation doivent faire partie d'un échange avec les industriels pour prescrire les solutions les plus adaptées au projet. A titre d'exemple, le **Tableau 2**, ci-dessus, donne quelques cas d'application de l'empreinte carbone du béton en fonction de l'effort de réduction appliqué à la formulation. Le maître d'œuvre étant

capable d'identifier son besoin global en termes d'impact lié aux différentes parties d'ouvrage (fondation, plancher, voile), il lui suffira d'exprimer cet objectif à l'industriel du béton pour que celui-ci lui propose des solutions. Afin de faciliter aussi bien les échanges entre les différentes parties prenantes du projet (architecte, bureaux d'études structure et environnement) que la génération des FDES, il sera utile de présenter les quantités selon un mode de métré défini comme indiqué au **Tableau 3**.

A titre d'exemple, la **Figure 3**, ci-contre, illustre le cas d'un projet dans lequel les voiles béton sont de classe d'exposition XC1 (voiles extérieurs protégés, voiles de refend intérieurs) avec un objectif carbone rapporté au m³ pour cette partie d'ouvrage de 210 kg éq. CO₂/m³. L'effort de réduction du fournisseur de béton pourra alors varier de 15 à plus de 30 % par rapport au béton de référence, en fonction de la classe de résistance. Cette dernière pourra aller de C20/25 à C45/C55. Ainsi, différentes configurations de dimensionnement de la structure s'offrent au maître d'œuvre pour une même empreinte carbone du béton. À noter que pour un C40/50 et au-delà, il y a des restrictions d'emplois en hiver. Une vérification de disponibilité doit, bien entendu, être effectuée. ■

4^E LEVIER : OPTIMISER EN FONCTION DE LA NATURE DES LIANTS

Les possibilités d'optimisation dépendant de la nature du liant, celles-ci doivent tenir compte des éléments suivants :

- disponibilité locale de certains liants,
- rhéologie/maniabilité du béton,
- adaptation des formules pendant les périodes hivernales du chantier,
- exigence de résistance au jeune âge pour certaines parties d'ouvrage,
- exigences différentes en termes de temps de cure du béton,
- qualité du parement.

Les spécificités de la préfabrication en béton

Le choix des solutions constructives préfabriquées en béton résulte d'un processus multicritère d'écoconception du bâtiment, intégrant les performances fonctionnelles, techniques, économiques et environnementales apportées par les produits préfabriqués.

Grâce à la préfabrication, les délais des chantiers de construction sont réduits du fait de la

rapidité de mise en œuvre des produits. Les impacts liés à l'exécution des bâtiments sont ainsi amoindris (les produits préfabriqués en béton réduisent les déchets de chantier).

Les leviers sur le matériau béton, précédemment cités, s'appliquent également aux produits préfabriqués. D'autres leviers d'actions propres aux produits industriels en béton existent et sont à la

disposition des concepteurs qui doivent atteindre leurs objectifs de réduction de l'empreinte carbone des bâtiments. Ainsi, les produits industriels sont conçus avec des procédés de fabrication optimisés qui autorisent des économies de matière. C'est le cas, par exemple, des produits creux ou précontraints. L'économie de matière peut également être obtenue par le choix de systèmes

constructifs rationnels qui limitent les éléments porteurs.

De plus, les systèmes constructifs préfabriqués peuvent participer à la performance thermique des bâtiments en réduisant les ponts thermiques ou grâce à leur performance intrinsèque d'isolation. Ces solutions concourent ainsi à l'amélioration du compromis entre les performances énergétiques (E+) et environnementales (C).

SPÉCIFICITÉS DES PRODUITS ET SYSTÈMES PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON

Les produits préfabriqués en béton sont des produits finis fabriqués en usine à proximité des centres urbains. Ils disposent de normes

produits spécifiques et de certifications produits CE et NF.

Les normes de produits s'appuient préférentiellement sur des exi-

gences de performance plutôt que de moyens, ce qui offre une certaine liberté au formulateur pour réduire l'empreinte carbone de son

béton. Ce choix de la performance offre des opportunités pour l'innovation.

CONCEPTION DES PRODUITS

Lors de la conception des produits, les problématiques techniques et environnementales sont prises en compte par le préfabricant en lien avec les spécificités de son procédé.

Les industriels conçoivent au mieux leurs produits en béton en s'efforçant de réduire les sections tout en maintenant leur aptitude à l'emploi dans le respect des normes qui s'appliquent. Ces optimisations sont obtenues par un calcul poussé, la maîtrise des enrobages, l'allègement des produits (par exemple en I, en T, creux, à lame d'air), l'utilisation courante de la précontrainte et l'emploi de bétons à hautes ou très hautes performances.

L'adéquation du couple béton/procédé de fabrication permet, en outre, d'exploiter au mieux le potentiel de performances du

béton et d'optimiser sa fabrication. Par exemple, la forte compacité des bétons vibro-compactés, des produits de presse ou extrudés, ou des dalles alvéolées, permet une forte réduction du dosage en liant du béton. Associée à une réduction des sections, cela conduit à une empreinte environnementale plus faible. Pour les produits à démoulage différé, le recours à une cure hygrothermique de faible durée et à température modérée (40 à 80 °C) permet d'améliorer encore davantage l'effort de réduction de l'empreinte carbone du béton.

Par ailleurs, l'industrie du béton développe des bétons légers, spécifiques, qui participent à la performance thermique des bâtiments. Des bétons à base de constituants biosourcés ou encore des bétons qui valorisent

des matières premières secondaires contribuant ainsi à l'économie circulaire.

Les produits préfabriqués isolés ou légers pour le bâtiment sont conçus pour améliorer la per-

formance thermique de ce dernier et peuvent donc être pris en considération dans la recherche du meilleur compromis entre les performances énergétiques (E+) et environnementales (C).



Photo : DR

→ La crèche Budin, Paris, utilise des murs en béton à isolation intégrée.

CONCEPTION DES OUVRAGES À PARTIR DE PRODUITS ET SYSTÈMES CONSTRUCTIFS EN BÉTON

Afin de limiter l'impact carbone du bâtiment, un levier d'action consiste à optimiser la conception de l'ouvrage en intégrant au mieux, en amont, les solutions performantes des points de vue mécaniques, thermiques, acoustiques, environnementales et éco-

nomiques offertes par les produits et systèmes constructifs préfabriqués en béton. Par exemple il est possible d'envisager de plus grandes portées et des structures poteaux poutres pour limiter les porteurs.

Conclusion

Le label E+C en cours d'expérimentation met l'accent sur la réduction de l'empreinte carbone en complément du renforcement de l'efficacité énergétique des bâtiments. C'est un nouvel enjeu pour les matériaux. Le critère à atteindre s'exprime en émission de gaz à effet de serre (Eges) sur l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment au niveau global et au niveau des seuls produits de construction et équipements (PCE). D'une manière générale, le gros œuvre représente à lui seul entre 30 et 50 % de l'Eges PCE et 15 à 25 % de l'Eges Global. Tel que présenté dans ce guide, la filière béton propose, d'ores et déjà, de nombreuses solutions largement plébiscitées par les maîtrises d'ouvrage, les maîtrises d'œuvre et les entreprises. Pour abaisser l'empreinte carbone des bâtiments, l'effort doit ainsi être réparti sur les différents lots (produits et équipements). Aussi, compte tenu des progrès réalisés par la filière pour réduire l'em-

preinte carbone du béton et les nombreuses innovations qui permettent d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments (toiture terrasse végétalisée, bétons isolants structurels, blocs coffrants isolants, etc.), le béton s'inscrit parfaitement dans la démarche de l'expérimentation E+C.

L'objectif de réduction de l'empreinte carbone vient compléter les exigences réglementaires existantes d'un bâtiment (structure, sismique, feu, acoustique, thermique, ...) et les exigences fonctionnelles spécifiques à chaque projet (gestion des eaux de pluie par la toiture ou à la parcelle). La prise en compte du cahier des charges complet par la maîtrise d'œuvre doit conduire à décliner la meilleure combinaison de produits et de systèmes pour répondre aux besoins du maître d'ouvrage. Les atouts du matériau béton dans de nombreux domaines continueront de justifier le rôle important de ce matériau dans les bâtiments.

FDES (Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire)



Au total, les FDES des produits évaluent 28 indicateurs et flux. Elles considèrent l'empreinte carbone globale des produits, en intégrant les impacts du matériau béton, des aciers, des procédés de fabrication en usine, des transports et de la mise en œuvre sur chantier. Il est à noter que les impacts des produits préfabriqués sont calculés pour une unité fonctionnelle : m linéaire de produit, m² de mur, m² de plancher, ... Les FDES des produits préfabriqués en béton sont disponibles sur la base INIES (www.inies.fr).

En ce qui concerne l'intégration de l'aspect carbone dans la prescription des bétons, celle-ci doit se faire dès l'amont du projet, soit en phase de programmation, soit en phase de conception et d'étude (avant-projets sommaire et définitif). Ceci, afin de bien intégrer les leviers de réduction, à savoir le choix approprié des classes d'exposition par partie d'ouvrage et l'optimisation des éléments de structure (forme, section, taux de ferrailage) ; sans oublier l'utilisation des données environnementales spécifiques (quand elles existent) en lieu et place des données par défaut. A partir d'un objectif de performance environnementale clairement affiché par la maîtrise d'ouvrage, ces leviers permettent, à eux seuls, de réduire de plus de 20 % l'empreinte carbone du gros œuvre. Pour atteindre cet objectif, il sera ainsi recommandé de s'adresser le plus rapidement possible au fournisseur de la solution

béton qui aura été identifié à proximité du chantier (qu'il soit porteur de solutions de béton prêt-à-l'emploi ou de solutions préfabriquées en béton), afin qu'il propose la ou les solutions appropriée(s). En effet, pour une performance environnementale visée, il peut exister plusieurs formulations de béton. Producteurs et industriels du béton doivent donc être consultés par les maîtres d'œuvre. Ceux-ci seront les mieux à même de répondre en fonction des disponibilités locales sur la zone géographique concernée et des adaptations nécessaires aux conditions du chantier. Le fournisseur aura un devoir de conseil pour fournir la solution la plus performante du point de vue technico-économique au regard des objectifs. A ce jour, cette approche collaborative existe très peu, voire pas, en avant-projet. Elle doit assurément être renforcée afin de procéder aux meilleurs choix. ■