

# RECOMMANDATIONS : BIEN PRESCRIRE LES BÉTONS DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL (provisoire)

## EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE

### **Recommandations pour les clauses à introduire dans le CCTP :**

Il est recommandé de considérer en premier lieu l'unité fonctionnelle se rapportant à la partie d'ouvrage. Il convient de jouer sur l'ensemble des leviers possibles : optimisation du dimensionnement et optimisation du matériau.

### **Exemples de clause :**

Lorsque l'unité fonctionnelle est préalablement dimensionnée, la référence à une empreinte carbone concernant le m<sup>3</sup> de béton s'entend comme intégrant toutes les solutions correspondant à l'un des deux cas suivants :

- Cas 1 :  
Une structure répondant au dimensionnement tel qu'il a été préalablement défini dont le béton répond à minima à la classe d'émission carbone mentionnée.
- Cas 2 :  
Une structure dont l'optimisation du dimensionnement est telle que les performances en émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'échelle de l'unité fonctionnelle sont au moins équivalentes au cas 1 quelque que soit le niveau d'émission du béton utilisé (moins émissif ou plus émissif en GES).

Cette fiche traite des aspects suivants :

- Empreinte environnementale d'une partie d'ouvrage
- Empreinte environnementale du béton

Cette fiche ne traite pas des points suivants :

- Approche performantielle (voir fiche *RECO 1.5 Approche performantielle des bétons*)
- Granulats recyclés (voir fiche *RECO 4.7 Spécificité des bétons de granulats recyclés*)
- L'aide au choix des ciments et des additions par le FD P 18-011 (voir fiche *RECO 2.1 Choix des classes d'exposition*)

## GÉNÉRALITÉS

La raréfaction croissante des matières premières, l'espace limité des décharges et la nécessité de réduire les émissions de carbone sont des contraintes aujourd'hui universelles.

Les ouvrages durables doivent y répondre, mais doivent offrir en même temps une qualité technique élevée et être alignés sur les normes de construction. En outre, les ouvrages doivent toujours être adaptés aux besoins de l'utilisateur et avec l'impact le plus faible possible sur le milieu extérieur. L'analyse de l'impact d'un bâtiment ou d'un ouvrage de génie civil doit donc être faite de manière globale, en prenant en compte de nombreux paramètres, l'impact environnemental bien entendu, mais également la durée de vie, la possibilité d'aménagement en fin de vie, l'adaptation à l'usage, etc.

Le choix du maître d'ouvrage ne doit donc pas se limiter au seul matériau, mais bien prendre en compte l'ouvrage dans sa globalité, ni fixer d'obligations de moyens en termes d'utilisation de constituants.

## DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les principaux documents publiés à ce jour concernant l'impact environnemental d'un ouvrage ou d'un produit sont les suivants :

NF EN 15804+A2/CN : *Contribution des ouvrages de construction au développement durable — Déclarations environnementales sur les produits — Règles régissant les catégories de produits de construction*

NF EN 17472 : *Contribution des ouvrages de construction au développement durable — Évaluation de la contribution au développement durable des ouvrages de génie civil — Méthodes de calcul*

NF EN 15978, *Contribution des ouvrages de construction au développement durable — Évaluation de la performance environnementale des bâtiments — Méthode de calcul*

NF EN 16757 : *Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant la catégorie de produits pour le béton et les éléments en béton*

CEN TR 17310 : *Carbonatation et absorption du CO<sub>2</sub> dans le béton*

Voir les autres références détaillées dans la fiche [NI - Liste des normes et fascicules en vigueur](#).

## EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE D'UN OUVRAGE

Le calcul de l'empreinte environnemental d'un ouvrage d'art doit se faire selon les règles de la NF EN 17472 (NF EN 15978 dans le cas d'un bâtiment)

C'est à ce niveau que d'éventuelles comparaisons de variantes doivent se faire, en effet, des modifications du type béton, telle l'utilisation de béton à haute performances, certes plus impactant au m<sup>3</sup>, entrainera des diminutions de plusieurs postes. D'une manière générale, l'optimisation des sections permet un allègement des structures tout en maintenant la fonctionnalité :

- Optimisation du volume global de béton
- Réduction du poids propre de l'ouvrage d'où diminution des fondations
- Impact positif également sur le volume de terrassement

La diminution de l'impact global d'un bâtiment ne peut donc se concentrer sur le seul matériau, mais doit faire intervenir l'ensemble des acteurs, et en tout premier le concepteur afin de déterminer la solution optimale et utiliser chaque matériau à l'optimum de ses possibilités.

## **EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE D'UNE PARTIE D'OUVRAGE EN BETON**

Le calcul de l'empreinte environnementale d'un matériau de construction doit se faire également selon les règles de la NF EN 15804. Cette norme définit les « FDES » (Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire). En France, ces FDES sont également regroupées dans la base de données INIES

« [Inies, les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment et la RE2020 - Inies](#) »

Dans le cas du béton, comme pour les produits en béton, cette norme est complétée par la NF EN 16757 (Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant la catégorie de produits pour le béton et les éléments en béton)

Depuis novembre 2022, la version de la NF EN 15804 en vigueur en France est la NF EN 15804+A2/CN, néanmoins, les FDES établies selon la version précédente de la norme (NF EN 15804 +A1) restent valides jusqu'à la fin de leur période de validité (5 ans à partir de leur création) mais au plus tard au 1er janvier 2026

Pour les produits préfabriqués en béton, le logiciel EnvironnementIB développé par le CERIB (<http://www.environnement-ib.com>) permet de configurer et d'éditer des FDES de différents produits préfabriqués. A ce jour, la version de la norme utilisée est la version A1, cette version reste utilisable jusqu'à fin 2023. Une nouvelle version, conforme à la NF EN 15804 +A2 est en développement.

Pour les éléments en béton coulé en place, le logiciel BETie du SNBPE ( BETie ([snbpe.org](http://snbpe.org)) ) permet de calculer l'impact de différents bétons. A ce jour, la version de la norme utilisée est la version A1, cette version reste utilisable jusqu'à fin 2023. Une nouvelle version, conforme à la NF EN 15804 +A2 devrait être utilisable à mi-2023.

## **EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DU BETON**

Le calcul de l'empreinte environnementale d'un matériau de construction doit se faire également selon les règles de la NF EN 15804. Cette norme définit les « FDES » (Fiches de Déclaration

Environnementale et Sanitaire). En France, ces FDES sont également regroupées dans la base de données INIES.

« [Inies, les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment et la RE2020 - Inies](#) »

Dans le cas du béton, comme pour les produits en béton, cette norme est complétée par la NF EN 16757 (Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant la catégorie de produits pour le béton et les éléments en béton)

Depuis novembre 2022, la version de la NF EN 15804 en vigueur en France est la NF EN 15804+A2/CN, néanmoins, les FDES établies selon la version précédente de la norme (NF EN 15804 +A1) restent valides jusqu'à la fin de leur période de validité (5 ans à partir de leur création) mais au plus tard au 1er janvier 2026

Pour le matériau béton seul, le logiciel BETie du SNBPE ( [BETie \(snbpe.org\)](#) ) permet aussi de calculer l'impact du matériau. A ce jour, la version de la norme utilisée est la version A1, cette version reste utilisable jusqu'à fin 2023. Une nouvelle version, conforme à la NF EN 15804 +A2 devrait être utilisable à mi-2023.

## PRINCIPES GÉNÉRAUX

Il est essentiel de considérer en premier lieu l'échelle de l'unité fonctionnelle, c'est-à-dire l'aptitude de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage à remplir sa fonction, et pas seulement les émissions de carbone du matériau.

A titre d'exemple :

- Un mur de soutènement en béton destiné à soutenir un remblai de 3m de hauteur avec circulation en tête ;
- Un passage inférieur en béton permettant un gabarit de circulation de 3m\*6m.

En effet, l'impact environnemental des solutions constructives en béton peut être optimisé par l'une ou l'autre ou la combinaison des deux voies que sont la diminution des quantités de béton et/ou d'acier par une meilleure utilisation de leurs performances d'une part et la réduction de leur impact unitaire (éq kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de béton) d'autre part.

**Comme précisé précédemment, il serait contre-productif d'imposer, par exemple, une valeur maximale à ne pas dépasser par m<sup>3</sup> de béton.** L'optimisation des sections, l'utilisation d'un béton à haute performance plus émissif au m<sup>3</sup>, engendrent une diminution des émissions de CO<sub>2</sub> au niveau de l'ouvrage par suite de la diminution des quantités de béton utilisés.

Des travaux sont actuellement en cours au niveau du groupe de normalisation GE "Solutions Bas Carbone" (GE SBC) de la commission de normalisation des bétons. Il s'agit de proposer une catégorisation des bétons "bas carbone" en fonction de la classe de résistance et de la classe d'exposition (Task Force n°2 du GE SBC). Parallèlement et en cohérence, la Task Force n°6 du GE SBC, réunissant des membres de la commission Eurocode 2 et de la commission béton, mène des réflexions pour aboutir à un fascicule de documentation "Evaluation environnementale des ouvrages en béton : écoconception, prescription et exécution".

Lorsque l'unité fonctionnelle est préalablement dimensionnée, la référence à une empreinte carbone concernant le m<sup>3</sup> de béton s'entend comme intégrant toutes les solutions correspondant à l'un des deux cas suivants :

- Cas 1 :  
une structure répondant au dimensionnement tel qu'il a été préalablement défini dont le béton répond à minima à la classe d'empreinte carbone mentionnée.
- Cas 2 :  
une structure dont l'optimisation du dimensionnement est telle que les performances en émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'échelle de l'unité fonctionnelle sont au moins équivalentes au cas 1 quelque que soit le niveau d'émission du béton utilisé (moins émissif ou plus émissif en GES).

## Exemples

### 1. Plancher haut d'un sous-sol de parking de bâtiment

Cet exemple illustre le cas 2 où la référence à une classe de réduction d'émissions carbone s'applique par équivalence au cas 1 sur une structure dont le dimensionnement est optimisé par rapport à un dimensionnement d'origine.

L'exemple porte sur la construction d'un plancher haut d'un sous-sol de parking de bâtiment.

Le projet décrit, dans le design d'origine, la fourniture de dalles en béton armé de 20 cm d'épaisseur représentant au total une surface de plancher de 680,3 m<sup>2</sup> et de poutres en béton armé de section 60 cm x 40 cm de hauteur et représentant au total 55,7 mètres linéaires.

Le projet spécifie un béton C25/30 XC1 et également une classe de réduction carbone d'au moins 40 %.

Il est proposé en variante une solution constructive permettant des réductions de sections comparativement au design d'origine par l'usage de bétons précontraints. La variante, définie au bureau d'étude, consiste en la fourniture de planchers à prédalles précontraintes et de poutres précontraintes. Le plancher d'épaisseur totale de 18 cm est constitué de prédalles de 6 cm d'épaisseur et d'une dalle de compression en béton coulé en place de 12 cm d'épaisseur. Les poutres en béton précontraint sont de section 40 cm x 22 cm de hauteur, elles sont complétées d'un béton de clavetage coulé en place de 18 cm d'épaisseur.

Les empreintes carbone de la solution constructive décrite dans le design d'origine par le projet et de la solution constructive variante sont calculées grâce à l'emploi des FDES associées aux unités fonctionnelles de la structure :

- *Design d'origine* : 31 780 kgCO<sub>2</sub>eq pour l'ensemble du plancher (dalles + poutres)
- *Variante* : 31 170 kgCO<sub>2</sub>eq soit une valeur équivalente (à 2 % près) à celle de la solution constructive décrite dans le design d'origine.

Ainsi la solution constructive variante au design optimisé correspond à la classe de réduction d'empreinte carbone 40 %.

Les détails de calcul des empreintes carbone sont donnés dans les tableaux suivants.

	<b>Design d'origine</b>
<b>Dalle</b>	
Empreinte carbone par unité fonctionnelle	40,9 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Surface	680,3 m <sup>2</sup>
Empreinte carbone dalles	27 796 kgCO <sub>2</sub> eq
<b>Poutre</b>	
Empreinte carbone par unité fonctionnelle	71,5 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Longueur	55,7 m <sup>2</sup>
Empreinte carbone poutres	3 985 kgCO <sub>2</sub> eq
<b>Plancher (dalle + poutre)</b>	
Empreinte carbone plancher	31 780 kgCO <sub>2</sub> eq

*Tableau 1 : Empreinte carbone de la solution constructive décrite dans le design d'origine*

	<b>Design optimisé</b>
<b>Prédalle</b>	
Empreinte carbone par unité fonctionnelle	20,6 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Surface	690,2 m <sup>2</sup>
Empreinte carbone prédalles	14 218 kgCO <sub>2</sub> eq
<b>Dalle de compression</b>	
Empreinte carbone par unité fonctionnelle	20,0 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Surface	690,2 m <sup>2</sup>
Empreinte carbone dalle de compression	13 801 kgCO <sub>2</sub> eq
<b>Poutres</b>	
Empreinte carbone par unité fonctionnelle	47,1 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Longueur	55,7 m
Empreinte carbone poutres	2 624 kgCO <sub>2</sub> eq
<b>Clavetage</b>	
Empreinte carbone par unité fonctionnelle	26,3 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Surface	20,1 m <sup>2</sup>
Empreinte carbone clavetage	527 kgCO <sub>2</sub> eq
<b>Plancher (total)</b>	
Empreinte carbone plancher	31 170 kgCO <sub>2</sub> eq

*Tableau 2 : Empreinte carbone de la solution constructive variante au design optimisé*

## 2. Tablier d'un passage supérieur en béton à hautes performances avec ou sans précontrainte

Cet exemple illustre le cas 2 où l'optimisation de la structure est réalisée en utilisant un béton à hautes performances. Il est issu des travaux du Projet National BHP 2000.

Le tableau ci-dessous permet de comparer deux solutions pour la réalisation du tablier d'un passage supérieur avec précontrainte :

- Une dalle en béton C35/45 ;
- Une dalle en béton C80/95.

La solution la moins émissive en carbone correspond à l'utilisation d'un béton à hautes performances C80/95 et de la précontrainte. C'est aussi la solution la plus économique.

	<b>Dalle en béton C35/45* précontraint</b>  *271 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	<b>Dalle en béton C80/95 précontraint</b>  *335 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>
Elancement	1/22	1/30
Epaisseur (m)	1	0,54 à 1
Epaisseur équivalente (m)	0,75	0,37
Poids du tablier (t)	975	520
Volume de béton	390 m <sup>3</sup> 105 495 kgCO <sub>2</sub> eq	188 m <sup>3</sup> 62 974 kgCO <sub>2</sub> eq
Armatures passives 1140 kgCO <sub>2</sub> eq/t	39 t 44 460 kgCO <sub>2</sub> eq	39 t 44 460 kgCO <sub>2</sub> eq
Précontrainte 1140 kgCO <sub>2</sub> eq/t	12 t 13 680 kgCO <sub>2</sub> eq	8 t 9 120 kgCO <sub>2</sub> eq
Total kgCO <sub>2</sub> eq/t	<b>163 635</b>	<b>116 554</b>
Coûts (€) estimés en 2000 au m <sup>2</sup> utile, y compris les fondations	991	982

*Tableau 3 : Analyse comparative de différentes solutions constructives pour la réalisation du tablier d'un passage supérieur*