



# Infrastructures

Dossier thématique n° 1

## Un **béton** « **vert** » est-il possible ?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Introduction

Un matériau incontournable

Des matériaux de substitution

Le comportement à l'état frais

La piste des granulats

Le piégeage du CO<sub>2</sub>

# UN BÉTON « VERT » EST-IL POSSIBLE ?

Véritable roche liquide à température ambiante, son usage est d'une incomparable commodité, ce qui le rend difficilement remplaçable. En France, plus de 80 % du patrimoine bâti est en béton.

Cet usage généralisé n'est pas sans conséquence, que ce soit sur les émissions de CO<sub>2</sub>, principalement liées à la fabrication du ciment, ou sur la production de déchets minéraux de déconstruction. Dans ce contexte, il est urgent d'explorer les pistes pouvant conduire à un béton « vert ». En premier lieu, l'Ifsttar travaille sur le recyclage du béton de démolition sous forme de granulats : il conçoit des traitements du béton, piégeant le CO<sub>2</sub>, afin d'améliorer la qualité des granulats

et le cycle de vie global du matériau. Dans une perspective plus lointaine, l'Ifsttar travaille aussi sur des matériaux de substitution au ciment Portland, la « colle » du béton actuel. Avant le transfert à l'échelle industrielle, ces nouveaux ciments et bétons doivent être éprouvés et acceptés par le secteur de la construction et avoir démontré l'adéquation de leurs performances avec les procédés modernes développés dans ce domaine.

“ Dans ce contexte, il est urgent d'explorer les pistes pouvant conduire à un béton « vert ». ”



▲ Démolition à l'aide d'une tenaille

Photo : Yves Soulabaille / Genier Deforge et Ifsttar



Contenus textes réutilisables

Lire l'ensemble du dossier thématique 2013 sur <http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>

# 1 LE BÉTON. UN MATÉRIAU INCONTOURNABLE, QUI S'ADAPTE AUX ÉPOQUES (UNE DE PLUS...)

Par **Henri Van Damme**  
et mis à jour par **Jean-Michel Torrenti**,  
Directeur du Département **MAST**<sup>1</sup>

## Difficile d'imaginer une France sans béton...

Avec environ 7 000 km d'autoroutes, 12 000 km de routes nationales et un réseau de routes secondaires approchant le million de km, notre réseau routier est un gigantesque entrelaçage. De son côté, le réseau ferré de lignes à grande vitesse approche désormais les 2 000 km, tandis que le réseau ferroviaire électrifié classique dépasse les 15 000 km. Ces infrastructures de transport s'enchevêtrent grâce à 230 000 ponts routiers et 50 000 ponts ferroviaires. Elles requièrent plus de 50 000 murs de soutènement et sont rendues plus directes grâce au percement de près de 1 000 km de tunnels. Par ailleurs, avec 10 % de notre électricité d'origine hydraulique et près de 80 % d'origine nucléaire, nous possédons également plus d'un millier de barrages de toute taille et une soixantaine de réacteurs nucléaires. Et le réseau d'assainissement de nos eaux usées, quasi-totalement enfoui, est aussi dense que la France de surface. Ce patrimoine énorme est primordial pour la bonne marche du pays. Il repose essentiellement, à l'exception de la route, sur l'utilisation du béton et de l'acier (lesquels sont étroitement liés). Retirer le béton de notre pays annoncerait un retour instantané à l'âge pré-industriel.

## Les caractéristiques du béton

Véritable roche artificielle, le béton est d'une commodité d'usage incomparable. Il résulte d'un mélange de cailloux (appelés « granulats »

en termes technique), de sable, d'une colle (le ciment) et d'eau. Initialement assez liquide pour pouvoir épouser toutes les formes, il durcit spontanément en un temps raisonnable, même sous l'eau, sans qu'il ne soit nécessaire de le chauffer ou de le refroidir. Cette commodité explique son usage toujours croissant à l'échelle mondiale. Près d'un m<sup>3</sup> par an et par habitant est utilisé à l'heure actuelle. Suite au développement des pays émergents, il est probable que cette consommation double d'ici 2050.

## Des contraintes identifiées

Cet usage universel se heurte malgré tout à certaines limites. D'une part, la fabrication du ciment actuel (dit « Portland »), par réaction de l'argile avec les roches calcaires à haute température, est une source non négligeable de CO<sub>2</sub> (5 à 7 % des émissions mondiales<sup>2</sup>). D'autre part, les granulats, qui constituent l'ossature du béton, sont des ressources inégalement réparties et loin d'être inépuisables. Enfin, utiliser des granulats recyclés sur place pour reconstruire est également vertueux d'un point de vue des émissions de CO<sub>2</sub>.

## Un usage à optimiser

L'idée de recycler les bétons de déconstruction peut donc être une solution à envisager. Réutiliser des granulats et des grains plus fins, obtenus par broyage de gravats de déconstruction, est moins simple qu'il n'y paraît. La solidité d'un béton dépend, de manière très sensible et selon, des lois précises, de l'empilement des

grains de différentes tailles. Tout changement de taille, de forme ou même simplement de rugosité conduit à changer la structure de l'empilement et sa résistance. Comprendre et maîtriser ces changements, pour pouvoir malgré tout réobtenir un béton aussi performant que le béton de première génération, est un premier sujet sur lequel les chercheurs de l'Ifsttar travaillent.

Mais plutôt que de recycler directement les granulats, le sable et éventuellement le ciment pour refaire un nouveau béton frais, il peut être préférable de réutiliser les gravats après les avoir laissés à l'air pendant quelque temps ou en leur faisant subir un traitement de carbonatation accélérée. Ce faisant, le CO<sub>2</sub> est réabsorbé par les constituants du ciment qui se recarbonatent. Les gravats durcissent aussi par la même occasion, pour former des granulats de bien meilleure qualité. Le bilan global s'en trouve nettement amélioré, que ce soit sur le plan des émissions de CO<sub>2</sub> ou sur celui des économies de ressources naturelles. Beau et simple dans son principe, mais plus compliqué qu'il n'y paraît, comme précédemment.



▲ Viaduc de Saint-Cloud

1. **MAST** : Département Matériaux et structures

2. Ce qui est à la fois beaucoup et peu car aucun autre matériau aussi commode et disponible en de telles quantités n'aurait un impact aussi faible.

# 2 VERS DE NOUVEAUX MATÉRIAUX DE SUBSTITUTION AU CIMENT

Par **Nicolas Roussel**,

Directeur de recherche - Département MAST<sup>1</sup>, Laboratoire FM2D<sup>2</sup>

Les objectifs, de réduction des émissions de gaz à effet de serre ou d'augmentation de la part d'énergies renouvelables, sont autant de réponses politiques et législatives aux préoccupations de la société civile relatives aux impacts environnementaux de l'activité humaine.

Ces objectifs impactent, de manière générale, notre développement futur mais aussi, de manière spécifique, la façon dont nous construisons nos bâtiments et nos infrastructures. En France, la majorité des ouvrages d'art et des bâtiments est construite en béton. Dans le monde, avec trois tonnes par personne et par an, le béton est le matériau manufacturé le plus consommé.

Cette position trouve sa justification dans le faible coût énergétique et donc économique lié à sa fabrication. La disponibilité de ses composants, partout à la surface de notre planète, explique également ce succès. Cependant, dans un objectif de développement durable, une telle position en termes de fabrication et de consommation fait de la relation avec l'environnement de ce matériau une question majeure.

## Des impacts environnementaux liés à l'utilisation des matériaux

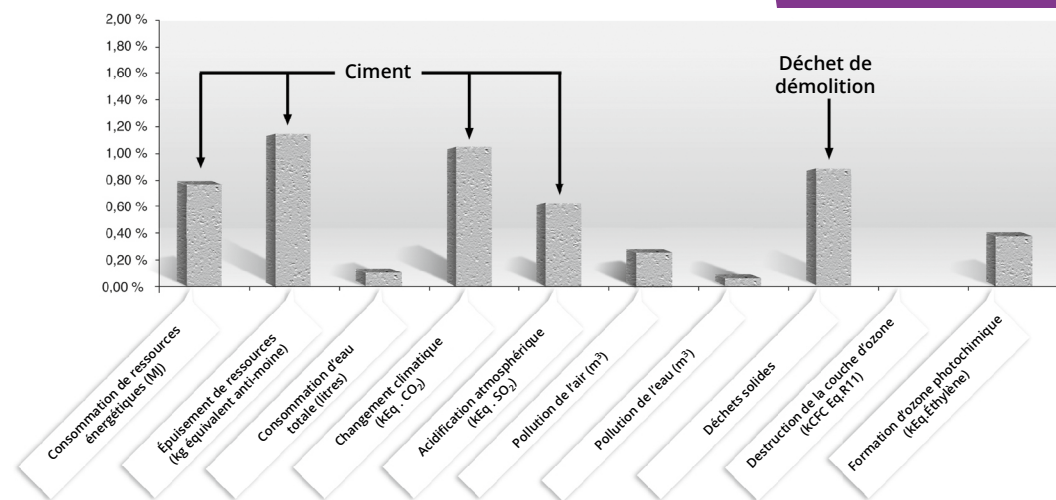
Nous considérons sur la figure 1 une poutre en béton armé de logement collectif comme un élément représentatif d'une structure béton. Les différentes données d'impacts environnementaux obtenues sont normalisées par ceux d'un citoyen européen en 1995. Elles démontrent que la production du ciment et la démolition des bétons constituent les impacts environnementaux principaux de ce système fonctionnel.

Il est cependant possible d'anticiper une partie des évolutions des ciments qui découleront de la mise en place de politiques de réduction des impacts environnementaux.

## Limiter les effets néfastes grâce à de nouvelles technologies

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont majoritairement associées à la cuisson et à la décarbonatation du calcaire nécessaire à la production du ciment traditionnel. L'Ifsttar a pu ainsi montrer récemment que l'industrie actuelle, en prenant en compte sa croissance et son évolution technique potentielle, pourrait produire des matériaux cimentaires répondant aux critères de diminution des émissions de CO<sub>2</sub> fixés pour l'étape intermédiaire de 2020 (Cf. Fig. 2).

La technologie actuelle ne permettra cependant pas d'atteindre les critères fixés pour 2050. Alors qu'une « évolution technologique » dominera les dix prochaines années, une « révolution technologique » semble donc inévitable à plus long terme.



▲ Figure 1. Impacts environnementaux normés, par rapport à ceux d'un citoyen européen, pour une poutre en béton armé de logement collectif (Données Ifsttar).

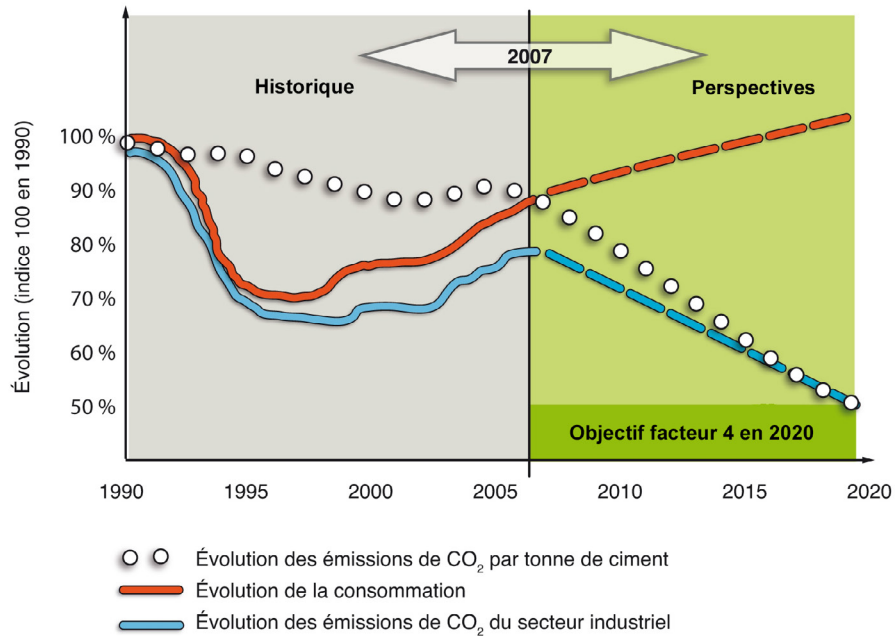


Contenus textes réutilisables

Illustration : Ifsttar

Lire l'ensemble du dossier thématique 2013 sur <http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>





▲ Figure 2. Évolution de l'impact changement climatique par tonne de ciment. Historique et perspectives (données Ifsttar).

### L'utilisation du ciment révolutionnée au profit de nouveaux liants

Une grande partie de l'effort de recherche de l'Ifsttar se focalise sur l'évolution technologique nécessaire à court terme. Elle passe par une réduction de la quantité de ciment traditionnel dans la formulation des bétons. Quelques pistes peuvent être citées comme le recours plus systématique aux ciments composés, l'utilisation d'autres déchets issus de l'activité industrielle et le recours à de forts taux de substitution du ciment par une ou plusieurs additions minérales telles que les laitiers de haut-fourneau, les cendres volantes ou d'autres déchets industriels.

À plus long terme, la « révolution technologique » pourrait venir de l'utilisation de liants alternatifs tels que les géopolymères ou les clinkers sulfo-alumineux<sup>3</sup>. Ces matériaux à très faibles impacts environnementaux pourraient ainsi remplacer le ciment portland traditionnel. La construction des connaissances et compétences nécessaires au traitement de tels sujets au sein de l'Ifsttar arrivent aujourd'hui à maturité.

À terme, les connaissances générées par notre établissement permettront de dissiper les inquiétudes liées à l'utilisation de ces matériaux par une démonstration de l'adéquation de leurs performances avec les procédés de construction modernes et par une évaluation quantitative de leur impact environnemental sur l'intégralité de leur cycle de vie (production, mise en œuvre et déconstruction).

1. MAST : Département Matériaux et structures
2. FM2D : Laboratoire Formulation, microstructure, modélisation et durabilité des matériaux de construction
3. Les ciments sulfo-alumineux sont identifiés par l'absence de phases chimiques caractéristiques du ciment Portland. Le clinker sulfo-alumineux contient moins de chaux et de silice mais plus de sulfate de calcium hydraté (gypse) ou non hydraté (anhydrite). En ce sens, il se distingue par une réduction d'environ 40 % des émissions de gaz carbonique lors de sa fabrication, liée à l'utilisation d'un cru moins riche en calcaire et à une température de cuisson plus basse.

#### Pour aller plus loin

G. Habert, N. Roussel, *Comment concevoir un béton ayant un faible impact environnemental ? Annales du BTP*, 4 (2008), 12-16.  
G. Habert, N. Roussel, *Study of two concrete mix-design strategies to reach carbon mitigation objectives*, *Cement & Concrete Composites*, 31 (2009), 397-402.

# 3 LA PHYSIQUE DES MATÉRIAUX AU SERVICE DES CIMENTS ENVIRONNEMENTAUX

Par **Hela Bessaies-Bey**,

Chercheuse en physicochimie des matériaux - Département **MAST**<sup>1</sup>, Laboratoire **CPDM**<sup>2</sup>

Notre société repose principalement sur l'utilisation du béton dans nos constructions. Il devient primordial de limiter ses impacts néfastes sur l'environnement. L'enjeu se situe au niveau de la fabrication du ciment qui est une source non négligeable de CO<sub>2</sub>. Le ciment est un liant qui, comme une colle, a pour fonction de solidariser les ingrédients du béton entre eux. Les chercheurs de l'Ifsttar veillent à ce que l'introduction de ciments à faibles impacts environnementaux ne détériorent pas les propriétés fondamentales du béton.

## Des ciments à faibles impacts environnementaux

La production d'un ciment, à faibles impacts environnementaux, constitue un défi majeur pour notre société actuelle. Il peut être résolu, en partie, si la quantité de clinker (composé principal du ciment) est diminuée dans le mélange. L'une des pistes les plus prometteuses est de le remplacer par de sous-produits provenant d'autres industries (laitier, fumée de silice, déchets de verre, déchets agricoles, etc.) ou par des ressources minérales naturelles (calcaire, argile, bauxite, etc.). Cet axe de recherche a fait l'objet de nombreuses publications scientifiques<sup>a, b</sup>, et d'une évolution progressive des normes. Pourtant des questions, relatives à l'effet de ces matériaux sur l'écoulement du béton, subsistent (principe de rhéologie<sup>3</sup>). Elles se posent principalement sur la diversité des produits et les proportions à utiliser<sup>c</sup>. Le comportement à l'état

frais (avant prise du ciment) de ces nouveaux ciments a un impact important sur les étapes de mise en œuvre du béton (malaxage, pompage, coffrage, etc.). Les conséquences peuvent être considérables sur les propriétés d'usage du béton à l'état durci (résistance mécanique et durabilité).

## Un comportement sous haute surveillance

L'écoulement d'une pâte de ciment (comportement rhéologique<sup>d</sup>) est dicté par les propriétés physiques des particules (distribution de taille, formes, surface spécifique, compacité, etc.), les interactions physico-chimiques entre particules et par l'encombrement du système (taux d'occupation du volume par des particules solides). Il est donc nécessaire de tenir compte de ces paramètres qui peuvent être modifiés lorsque le clinker est remplacé, même partiellement, par un autre produit.

Les travaux de recherche permettent ainsi d'identifier et de classer les phénomènes physico-chimiques modifiés par l'intégration d'ajouts minéraux. Ces résultats contribuent au développement de nouvelles pistes pour contrôler le comportement, à l'état frais, de ces ciments alternatifs.

## Des matériaux de plus en plus performants

Les propriétés physiques, définies par l'étude (forme, distribution de taille, compacité et surface spécifique), permettent aux producteurs de sous-produits industriels ou de ressources minérales naturelles d'améliorer les performances de leurs matériaux. En améliorant les procédés de broyage, de filtration ou de séparation des particules, il est possible de favoriser considérablement l'incorporation de leurs matériaux dans le ciment. Ces travaux permettent d'optimiser le choix des nouveaux liants et la quantité à introduire pour obtenir un béton plus écologique. De nouvelles perspectives en faveur d'un béton vert.

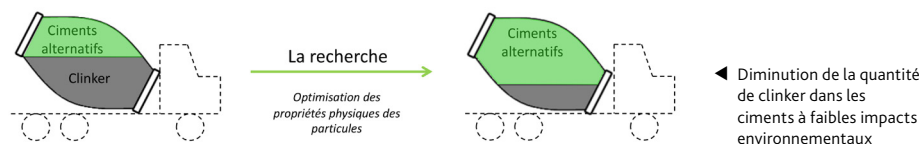


▲ Béton coulé dans la construction

1. **MAST** : Département Matériaux et structures
2. **CPDM** : Laboratoire Comportement physico-chimique et durabilité des matériaux
3. **Rhéologie** : Science des lois du comportement des matériaux, liants, à un instant donné, les contraintes aux déformations. (Sources Larousse)

## Pour aller plus loin

- a. M. C.G. Juenger, R. Siddique, *Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete*, *Cement and Concrete Research* 78 (2015) 71–80.
- b. B. Lothenbach, K. Scrivener, R.D. Hooton, *Supplementary cementitious materials*, *Cement and Concrete Research* 41 (2011) 1244–1256.
- c. R.J. Flatt, N. Roussel, C.R. Cheeseman, *Concrete: An eco material that needs to be improved*, *Journal of the European Ceramic Society*, 32 (2012) 2787–2798.
- d. N. Roussel, A. Lemaitre, R.J. Flatt, P. Coussot, *Steady state flow of cement suspensions: A micromechanical state of the art*, *Cem. Concr. Res.* 40 (2010) 77–84.



Contenus textes réutilisables

Illustration : Ifsttar et Epictura

Mis à jour le 5 novembre 2018

Lire l'ensemble du dossier thématique 2013 sur <http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>

# 4 EXPLORER LA PISTE DES GRANULATS

Par **Jean-Michel Torrenti**,  
Directeur du Département **MAST**<sup>1</sup>

Les granulats constituent la partie la plus importante d'un béton : environ les 2/3 de la masse. Or, la demande en granulats est très forte dans les agglomérations. Pour exemple, Paris et la petite couronne consomment annuellement 13 millions de tonnes de granulats (source livre blanc UNPG) et ce besoin va augmenter dans les prochaines années. En effet, avec les projets du Grand Paris : on estime que la demande augmentera de 5 millions de tonnes (source DRIEE d'Île-de-France). Ceci alors que la région Île-de-France a un problème de ressource et est déjà importatrice de près de la moitié des granulats qu'elle consomme. Les bétons représentent 42 % de la consommation totale. Ainsi, économiser les granulats pour faire du béton est donc un enjeu dans les années à venir. Nous évoquons ici quelques pistes de recherche de l'Ifsttar pour y parvenir.

## Le recyclage des bétons dans les bétons

Alors que la demande en granulats est de plus en plus forte, le volume de déchets générés par la déconstruction augmente et va devenir très important dans les futures années. Les matériaux cimentaires représentent environ le tiers de ces déchets mais ils sont très peu utilisés pour refaire des bétons. Or, le coût environnemental de ces déchets augmente et justifie donc les recherches entreprises pour démontrer que la valorisation de ces matériaux réduit leur impact environnemental. C'est pourquoi, dès 2008, l'Ifsttar a lancé une recherche en partenariat avec la profession en vue d'optimiser la formulation des bétons avec des granulats recyclés (Plus d'infos sur la thèse de Duc-Tung Dao dans le N° 122 de la revue Routes). Cette action se prolonge depuis 2012 notamment dans le cadre du projet national RECYBETON (RECYclage complet des BETONS – [www.pnrecybeton.fr](http://www.pnrecybeton.fr)). L'objectif de ce projet, qui regroupe des industriels et des centres de recherche dont l'Ifsttar, est d'accroître la réutilisation des matériaux issus des bétons déconstruits comme constituants des nouveaux bétons.

Adossé au projet national Recybeton, ECOREB (ECOconstruction par le REcyclage du Béton) est

un projet ANR complémentaire qui, se fondant sur l'existant pour les bétons traditionnels, permet le développement de nouveaux outils. Il s'agit de quantifier la demande en eau des granulats recyclés de béton et de caractériser la qualité des interfaces pâtes-granulats. Le projet vise, également, à fournir un outil de prédiction des résistances des bétons recyclés et plus particulièrement de leur comportement sous sollicitations endogènes (retrait, chaleur d'hydratation, etc.) et sous sollicitations externes (charges mécanique, neige, etc.). On citera aussi le projet ANR Crac (Carbonated Recycled Aggregates for Concrete), qui s'est intéressé au piégeage de CO<sub>2</sub> par les granulats de bétons recyclés et le projet national FastCarb qui étudie la recarbonation accélérée des granulats recyclés de béton. Ce traitement permet d'améliorer les caractéristiques physiques et mécaniques de ces granulats et d'optimiser le bilan CO<sub>2</sub> des bétons. L'ensemble de ces recherches doit valoriser le recyclage des bétons et ainsi, préserver la ressource naturelle en granulats.

Contacts : **Bogdan Cazacliu** (process),  
**Thierry Sedran** (formulation),  
**Assia Tegguer** (ECOREB)

## L'utilisation de granulats d'excavation : le cas du tunnel LTF (Lyon Tunnel Ferroviaire)

La future liaison ferroviaire entre Lyon et Turin, dont le promoteur est la société LTF, comportera deux tunnels (de longueur cumulée 65 km) dont le creusement générera 18,8 millions de m<sup>3</sup> de déblais. Dans le cadre d'une démarche de développement durable, près d'un quart de ces déblais doit être valorisé en granulats pour le revêtement en béton des tunnels. Cette solution permet, outre son intérêt économique, d'éviter l'excavation de nouvelles carrières et de limiter les transports de déblais et de granulats par route.

Toutefois, ces matériaux d'excavation contiennent une quantité de sulfates 10 à 20 fois supérieure à celle préconisée par les normes actuelles ce qui peut générer une détérioration du béton par formation de produits expansifs tels que l'ettringite ou la thaumasite<sup>2</sup>. Dans cette optique, le département Matériaux et Structures de l'Ifsttar participe à une recherche partenariale avec LTF, les sociétés cimentières HOLCIM et VICAT et le LERM. L'objectif est d'acquérir des connaissances sur le comportement des sulfates présents dans ces granulats et d'élaborer de nouvelles formulations de béton adaptées à ces granulats afin d'éviter tout problème de détérioration en fonction des conditions environnementales.

La valorisation des déblais du tunnel ne doit toutefois pas être réalisée au détriment des autres propriétés de mise en œuvre et de durabilité nécessaires à un tel ouvrage. Ainsi, cette recherche sera complétée par une démarche performantielle globale et prédictive de la durabilité des formules de béton retenues sur la base des indicateurs de durabilité préconisés dans le guide de l'AFGC « Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages ».

Contact : **Loïc Divet**

Vidéo



▲ Durabilité des matériaux bio-sourcés

Contenus textes réutilisables

Illustration : Thomas Rault et Ifsttar

Mis à jour le 5 novembre 2018

Lire l'ensemble du dossier thématique 2013 sur  
<http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>

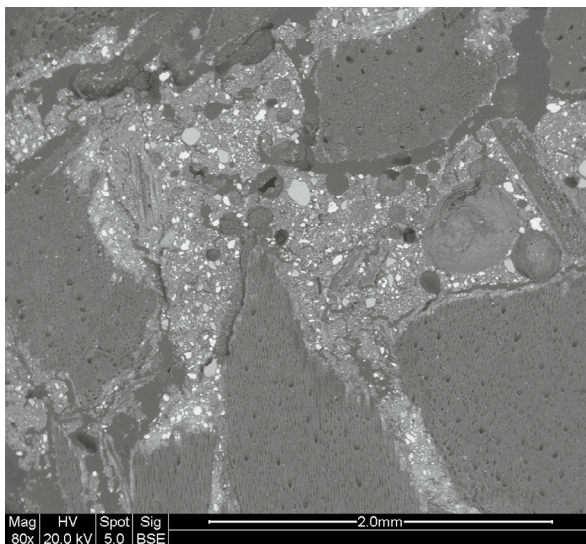
### Les matériaux bio-sourcés

Afin de réduire l'impact environnemental, lié à l'utilisation des matériaux de construction, et d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, des matériaux d'origine végétale doivent être privilégiés. Issus principalement de l'industrie agricole, des granulats végétaux sont enrobés par des liants minéraux à base de chaux pour former des matériaux isolants, appelés « bétons végétaux ». L'utilisation de ces matériaux permet d'améliorer le bilan écologique global du bâtiment et d'apporter de propriétés multiples, comme les performances thermiques, acoustiques et de la légèreté à la construction. Pendant toute leur durée de vie, ils contribuent également au stockage du CO<sub>2</sub>. Cependant, de nombreux blocages subsistent et limitent le développement de ce type d'écomatériau. Plus de connaissances sur le vieillissement de ces produits sont nécessaires, les premières constructions datant des années 1985-90.

C'est pourquoi, l'Ifsttar mène des travaux de recherche, sur la durabilité de ces matériaux. Ils concernent principalement l'évolution de leurs propriétés en fonction de leurs conditions d'utilisation.

Pendant deux ans, des éprouvettes de bétons de chanvre ont été soumises, en laboratoire, à plusieurs vieillissements accélérés. Leurs propriétés (mécaniques, thermiques et acoustiques, régulateur d'humidité) ont été caractérisées pendant cette période et reliées à leur composition chimique et leur microstructure. Ces nouvelles connaissances ont permis de montrer la stabilité des performances de ces bétons végétaux lorsqu'ils sont soumis à des environnements représentatifs de leurs conditions réelles d'utilisation.

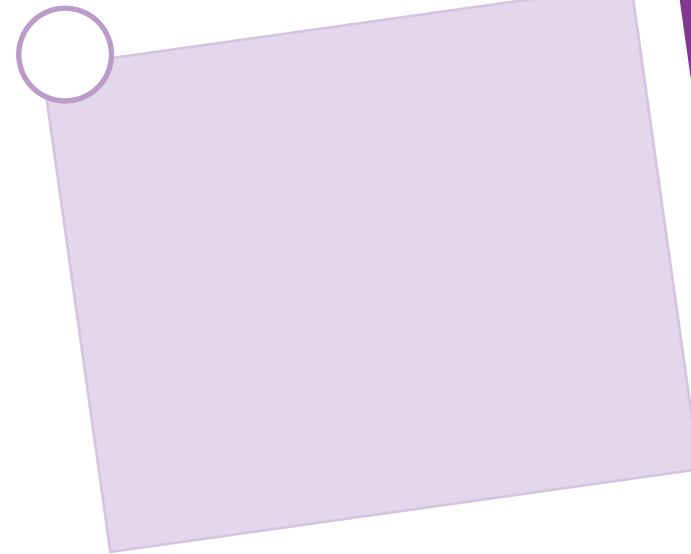
Contact : Sandrine Marceau



◀ Microstructure du béton de chanvre observée par microscopie électronique à balayage

Mag 80x HV 20.0 kV Spot 5.0 Sig BSE

2.0mm



1. MAST : Département Matériaux et structures
2. L'ettringite et la thaumasite sont deux composés minéraux résultant de l'attaque de certaines phases du ciment hydraté par les sulfates. L'ettringite peut générer une expansion et la fissuration du béton. La thaumasite conduit à une perte des propriétés mécaniques du béton par consommation des silicates de calcium hydratés. Les conditions de formation de ces composés dépendent à la fois de la formulation du béton et des conditions environnementales.

#### Pour aller plus loin

Delannoy, S. Marceau, P. Glé, E. Gourlay, M. Guéguen-Minerbe, D. Diafi, I. Nour, S. Amziane, F. Farcas, *Influence of binder on the multiscale properties of hemp concretes*, *European Journal of Environmental and Civil Engineering* (2018) doi.org/10.1080/19648189.2018.1457571.

Contenus textes réutilisables

Illustrations : ifsttar

Mis à jour le 5 novembre 2018

Lire l'ensemble du dossier thématique 2013 sur <http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>



# 5 PIÉGER LE CO<sub>2</sub> AU SEIN DU MATÉRIAU

Par Mickaël Thiéry  
et mis à jour par Jean-Michel Torrenti,  
Directeur du Département MAST<sup>1</sup>

Sur un kilogramme de ciment produit en cimenterie, l'émission de CO<sub>2</sub> est de 0,6-0,7 kilogrammes en moyenne. Compte tenu des quantités impressionnantes de ciment produites à l'échelle mondiale, l'industrie cimentière serait donc à l'origine de 5 à 7 % des émissions mondiales anthropiques de CO<sub>2</sub>. Près de la moitié de cette émission est due à la nature chimique même du composant principal du ciment, le clinker, dont la fabrication est obtenue par décarbonatation du calcaire<sup>2</sup>.

## Le principe de carbonatation des bétons

Le mélange d'eau et de ciment conduit à la formation d'hydrates à l'origine de la résistance des bétons. La présence de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, même en faible quantité (0,038 %), provoque une carbonatation<sup>3</sup> irréversible et lente de ces hydrates. À l'échelle des temps géologiques, la carbonatation est ainsi à même de piéger la part du CO<sub>2</sub> chimiquement émis par la cimenterie lors de la calcination du calcaire. Les conséquences de la carbonatation sont cependant diverses en fonction du moment où elle intervient, c'est-à-dire durant la phase de service ou après démolition.

L'Ifsttar travaille depuis de nombreuses années sur la carbonatation des bétons au cours de la phase de service des structures en béton armé. En effet, le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère se diffuse dans la porosité du béton et se dissout en formant des acides au contact de la solution interstitielle. Ce phénomène a pour principale conséquence d'abaisser le pH du milieu et de conduire à la corrosion des armatures. L'Ifsttar propose des modèles de prédiction de la durée de vie vis-à-vis du risque de corrosion. Ils peuvent être utilisés pour orienter la formulation du béton, le dimensionnement des structures, etc.

## Vidéo



▲ Comment recycler du béton ?



◀ Site de stockage de béton de démolition



▲ Exemple de pathologies (épaufures) sur béton armé dues à la corrosion des armatures induites par carbonatation.

Contenus textes réutilisables

Illustrations : ifsttar

Mis à jour le 5 novembre 2018

Lire l'ensemble du dossier thématique 2013 sur  
<http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>

### Une aubaine pour améliorer le « bilan carbone » du béton

À l'inverse des conséquences néfastes de la carbonatation sur la pérennité des structures en béton armé, ce phénomène peut s'avérer bénéfique du seul point de vue du béton. En effet, dans le cadre d'éléments non ferrailés, la carbonatation peut contribuer à piéger du CO<sub>2</sub> et à améliorer le « bilan carbone » du béton. L'Ifsttar a travaillé sur les aspects positifs de la carbonatation dans le cadre d'un financement par l'Agence Nationale de la Recherche (projet CRAC Carbonation of Recycled Aggregates of Concrete, récompensé par le prix du Trophée Eugène Freyssinet en 2011, qui s'est clôturé en 2013).

Ce matériau possède en effet une capacité naturelle à piéger le CO<sub>2</sub> mais lorsqu'il est sous la forme d'un élément de structure de bâtiment, cette réaction s'effectue sur une petite surface et est par conséquent très lente. En revanche lorsqu'il est concassé pendant la phase de démolition, la surface en interaction avec l'atmosphère augmente et la réaction du piégeage du CO<sub>2</sub> est accélérée.

Depuis 2018, le projet national FastCarb étudie comment encore accélérer cette reprise de CO<sub>2</sub>,

afin de reprendre environ 20 % du CO<sub>2</sub> libéré initialement lors de la fabrication de ce même béton soit 40 à 60 kg de CO<sub>2</sub> par m<sup>3</sup> de béton. En collaboration avec de nombreux partenaires, l'Ifsttar étudie comment le procédé peut être optimisé. Le projet permettra aussi une démonstration à un niveau industriel et des applications sur des chantiers utilisant des granulats recyclés.

### L'utilisation des granulats de béton de démolition

La carbonatation présente également un autre avantage : elle améliore les propriétés de microstructure et mécaniques du béton. Ainsi, lorsque le piégeage du CO<sub>2</sub> est optimisé, les granulats recyclés obtenus sont de meilleure qualité et l'on peut les réutiliser pour fabriquer un nouveau béton. Un avantage indéniable lorsqu'on sait qu'il existe en France une quantité importante de bâtiments en fin de vie voués à la destruction. L'Ifsttar travaille donc sur la mise à profit de la carbonatation pour améliorer les propriétés des granulats de béton de démolition en vue de les recycler pour fabriquer du nouveau béton.

### À consulter

Le principe de carbonatation des bétons  
Une pathologie courante des structures en béton armé  
La recarbonatation accélérée du béton

1. MAST : Département Matériaux et structures

2. Le calcaire CaCO<sub>3</sub> constitue avec l'argile la matière première du clinker. La fabrication du clinker passe par la décarbonatation du calcaire vers 900 °C dans le four de la cimenterie (CaCO<sub>3</sub> → CaO + CO<sub>2</sub>). Sa fabrication induit donc une émission de CO<sub>2</sub> de nature chimique à laquelle s'ajoute le dégagement de CO<sub>2</sub> lors de la combustion nécessaire à la chauffe.

3. La carbonatation repose sur la transformation des hydrates du ciment en carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub> (calcaire) sous l'action chimique du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.



# L'IFSTTAR au carrefour de la SCIENCE et de la SOCIÉTÉ

Qu'apporte la science à notre société ?  
Découvrez les contributions des scientifiques  
dans les dossiers thématiques Ifsttar.



Dans une logique d'ouverture à la société, nous avons choisi d'apposer à nos textes la « Licence Creative Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 non transposé » (CC BY-SA 3.0) afin qu'ils puissent être partagés librement et réutilisés selon certaines conditions.

Service promotion et partage des savoirs scientifiques et techniques

Direction scientifique Ifsttar

25, avenue François Mitterrand,

Cité des mobilités, F-69675 Bron Cedex

[openexperience@ifsttar.fr](mailto:openexperience@ifsttar.fr)

**CE DOSSIER VOUS A PLU ?**  
**+ de dossiers sur**



**IFSTTAR**

INSTITUT FRANÇAIS  
DES SCIENCES  
ET TECHNOLOGIES  
DES TRANSPORTS,  
DE L'AMÉNAGEMENT  
ET DES RÉSEAUX



Date de publication : février 2013  
Date de mise à jour : novembre 2018

Photos et illustrations : Ifsttar, Epectura  
Yves Soulabaille, Genier Deforge, Thomas Rault  
Conception maquette : STDI (Charlène Pineau)  
Mise en page : STDI • Impression : Ifsttar

