



Dossier thématique n° 1

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



Dossier thématique n° 1

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



Infrastructures

- 1 Introduction
 - 2 Un matériau incontournable
 - 3 Des matériaux de substitution
 - 4 Le comportement à l'état frais
 - 5 La piste des granulats
- Le piégeage du CO₂

L'Ifsttar est devenu l'Université Gustave Eiffel
au 1^{er} janvier 2020



> UN BÉTON « VERT » EST-IL POSSIBLE ?

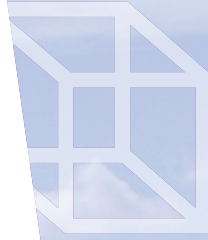
Véritable roche liquide à température ambiante, son usage est d'une incomparable commodité, ce qui le rend difficilement remplaçable. En France, plus de 80 % du patrimoine bâti est en béton.

Cet usage généralisé n'est pas sans conséquence, que ce soit sur les émissions de CO₂, 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 CO₂, 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

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 MAST¹*

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 »

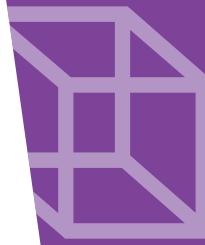
en termes technique), de sable, d'une colle (le ciment) et d'eau. Initialement assez liquide pour pouvoir épouser toutes les formes, il durcit spontanément en un temps raisonnable, même sous l'eau, sans qu'il ne soit nécessaire de le chauffer ou de le refroidir. Cette commodité explique son usage toujours croissant à l'échelle mondiale. Près d'un m³ 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 CO₂ (5 à 7 % des émissions mondiales²). D'autre part, les granulats, qui constituent l'ossature du béton, sont des ressources inéquitablement 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 CO₂.

Un usage à optimiser

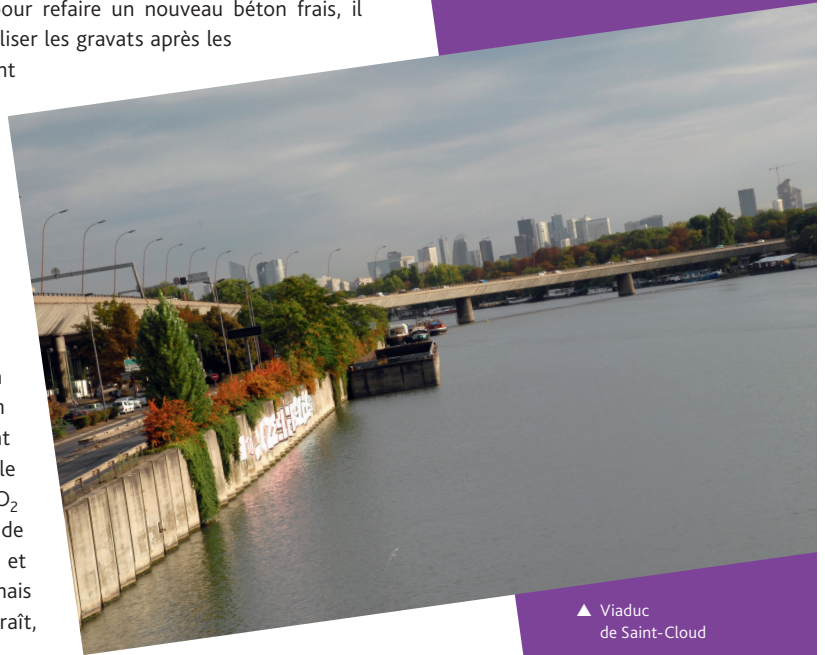
L'idée de recycler les bétons de déconstruction peut donc être une solution à envisager. Réutiliser des granulats et des grains plus fins, obtenus par broyage de gravats de déconstruction, est moins simple qu'il n'y paraît. La solidité d'un béton dépend, de manière très sensible et selon, des lois précises, 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 CO₂ 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 CO₂ 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.



Contenus textes réutilisables

Photo : Ifsttar

Article mis à jour en novembre 2018

LES COLLECTIONS
DE L'IFSTTAR
Février 2013

2 VERS DE NOUVEAUX MATÉRIAUX DE SUBSTITUTION AU CIMENT

Par Nicolas Roussel,

Directeur de recherche - Département MAST¹, Laboratoire FM2D²

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

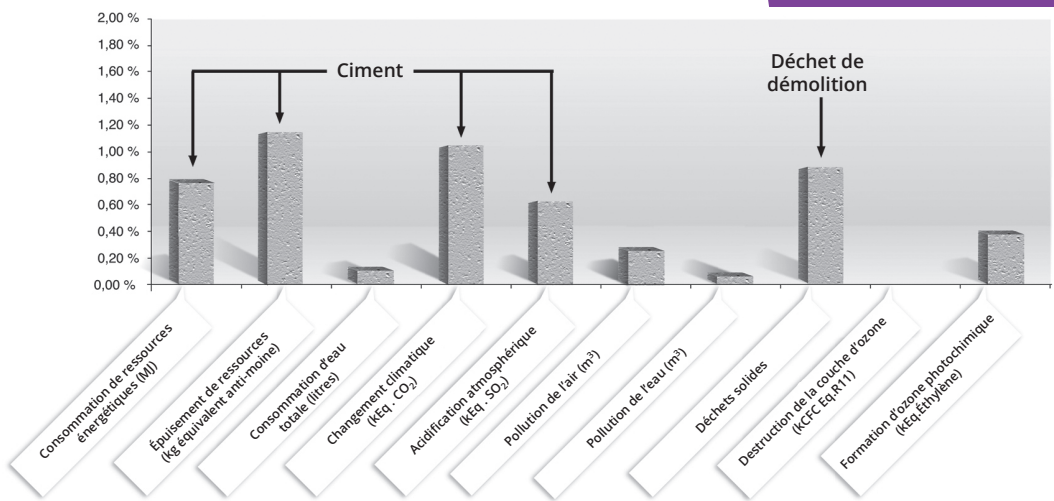
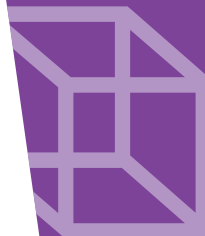
Nous considérons sur la figure 1 une poutre en béton armé de logement collectif comme un élément représentatif d'une structure béton. Les différentes données d'impacts environnementaux obtenues sont normalisées par ceux d'un citoyen européen en 1995. Elles démontrent que la production du ciment et la 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 CO₂ 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 CO₂ 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.

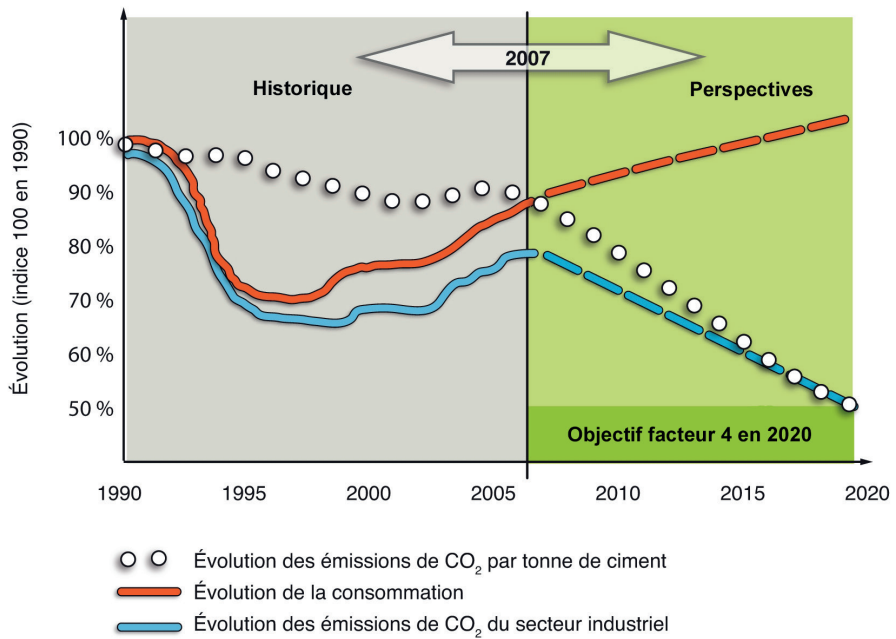


▲ Figure 1. Impacts environnementaux normés, par rapport à ceux d'un citoyen européen, pour une poutre en béton armé de logement collectif (Données Ifsttar).

Contenus textes réutilisables

Illustration : Ifsttar

VERS DE NOUVEAUX MATÉRIAUX DE SUBSTITUTION AU CIMENT (SUITE)



▲ 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-alumineux³. 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.



Contenus textes réutilisables

Illustration : Ifsttar

3 LA PHYSIQUE DES MATÉRIAUX AU SERVICE DES CIMENTS ENVIRONNEMENTAUX

Par Hela Bessaies-Bey,

Chercheuse en physicochimie des matériaux - Département MAST¹, Laboratoire CPDM²

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 CO₂. 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

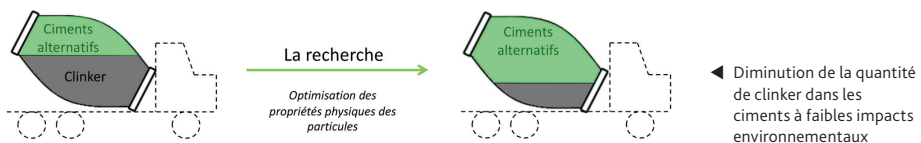
La production d'un ciment, à faibles impacts environnementaux, constitue un défi majeur pour notre société actuelle. Il peut être résolu, en partie, si la quantité de clinker (composé principal du ciment) est diminuée dans le mélange. L'une des pistes les plus prometteuses est de le remplacer par de 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^{a, b}, 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 rhéologie³). Elles se posent principalement sur la diversité des produits et les proportions à utiliser^c. 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^d) 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 des 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 Epectura

Article mis à jour en novembre 2018

LES COLLECTIONS
DE L'IFSTTAR
Février 2013

4 EXPLORER LA PISTE DES GRANULATS

Par Jean-Michel Torrenti,
Directeur du Département MAST¹

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). 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 Recybéton, 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'agira 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 CO₂ par les granulats de bétons recyclés et le projet national FastCarb qui étudie la recarbonatation accélérée des granulats recyclés de béton. Ce traitement permet d'améliorer les caractéristiques physiques et mécaniques de ces granulats et d'optimiser le bilan CO₂ 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 m³ 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 thaumasite². 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

Article mis à jour en novembre 2018

1/2 >

LES COLLECTIONS
DE L'IFSTTAR
Février 2013

EXPLORER LA PISTE DES GRANULATS (SUITE)

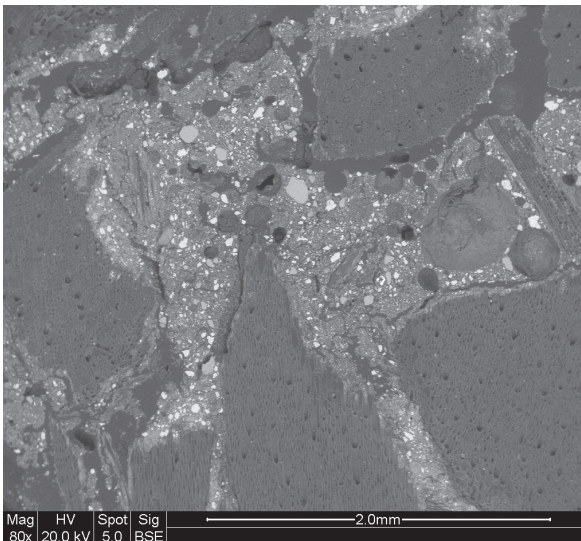
Les matériaux bio-sourcés

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 CO₂. 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

À consulter

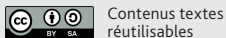


▲ à consulter sur <https://reflexscience.univ-gustave-eiffel.fr>

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. Diäfi, 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

Article mis à jour en novembre 2018

2/2

LES COLLECTIONS
DE L'IFSTTAR
Février 2013

5 PIÉGER LE CO₂ AU SEIN DU MATÉRIAU

Par Mickaël Thiéry
et mis à jour par Jean-Michel Torrenti,
Directeur du Département MAST¹

Sur un kilogramme de ciment produit en cimenterie, l'émission de CO₂ 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 CO₂. 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 calcaire².

Le principe de carbonatation des bétons

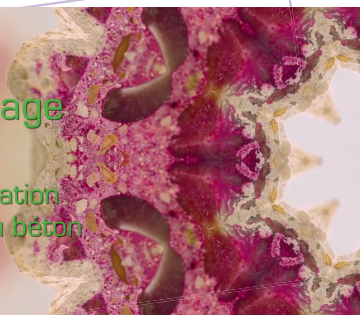
Le mélange d'eau et de ciment conduit à la formation d'hydrates à l'origine de la résistance des bétons. La présence de CO₂ dans l'atmosphère, même en faible quantité (0,038 %), provoque une carbonatation³ irréversible et lente de ces hydrates. À l'échelle des temps géologiques, la carbonatation est ainsi à même de piéger la part du CO₂ 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 CO₂ 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.

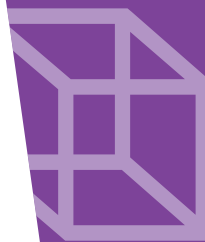
Vidéo



Le recyclage
du béton
Recarbonatation
accélérée du béton



▲ Comment recycler du béton ?



◀ Site de stockage de béton de démolition



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

PIÉGER LE CO₂ AU SEIN DU MATÉRIAU (SUITE)

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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ est accélérée.

Depuis 2018, le projet national FastCarb étudie comment encore accélérer cette reprise de CO₂,

afin de reprendre environ 20 % du CO₂ libéré initialement lors de la fabrication de ce même béton soit 40 à 60 kg de CO₂ par m³ 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 CO₂ 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.

1. MAST : Département Matériaux et structures

2. Le calcaire CaCO₃ 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 (CaCO₃ → CaO + CO₂). Sa fabrication induit donc une émission de CO₂ de nature chimique à laquelle s'ajoute le dégagement de CO₂ lors de la combustion nécessaire à la chauffe.

3. La carbonatation repose sur la transformation des hydrates du ciment en carbonate de calcium CaCO₃ (calcaire) sous l'action chimique du CO₂ de l'atmosphère.

À consulter

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

Infrastructures

Carbonatation des bétons Une aubaine ?

La carbonatation atmosphérique augmente les risques de corrosion des armatures du béton. Il faut donc se méfier de ce phénomène qui agit en permanence. Cependant, en piégeant le CO₂ dans le béton, on contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre associées à la production de ciment.

Capture du CO₂ pendant la phase de service

- Des simulations numériques ont été réalisées pour évaluer la capacité de fixation en CO₂ d'un élément de structure armé tant que le phénomène de carbonatation n'a pas atteint le stade des armatures.
- Le matériau capte 10 % à 15 % de CO₂, restant engagé pour la fabrication du ciment.

Capture du CO₂ après démolition

- Les simulations réalisées ont permis de quantifier le piégeage du CO₂ après démolition et stockage du matériau concassé. La capture de carbonatation après concassage est favorisée par le fait de l'augmentation de la surface spécifique.
- Des solutions technologiques sont étudiées afin de profiter au mieux de la carbonatation. Les modèles développés permettent l'optimisation technologique de la phase de piégeage du CO₂ le plus tard possible sur un site et le recyclage de ce dernier est privilégié.

Amélioration des propriétés des granulats

- La carbonatation continue la porosité du matériau.
- L'effet favorable sur la prise en compte du poids peut être recyclés comme granulats pour l'asphaltage.

Matériaux

Capter et stocker de grandes quantités de CO₂ dans le béton recyclé La recarbonatation accélérée du béton

Recycler et béton : une nécessité

Avec des armées par ailleurs et par ailleurs, le béton est le matériau le plus consommé au monde. Le béton est fabriqué à partir de sable, de ciment, de granulats et d'eau. Le béton est fabriqué à partir de sable, de ciment, de granulats et d'eau. Le béton est fabriqué à partir de sable, de ciment, de granulats et d'eau.

Le béton armé est composé de béton et d'acier. Le béton est fabriqué à partir de sable, de ciment, de granulats et d'eau. Le béton est fabriqué à partir de sable, de ciment, de granulats et d'eau.

Le béton armé est composé de béton et d'acier. Le béton est fabriqué à partir de sable, de ciment, de granulats et d'eau. Le béton est fabriqué à partir de sable, de ciment, de granulats et d'eau.

Infrastructures

Carbonatation des bétons Une pathologie courante des structures en béton armé

La carbonatation est un phénomène lent et naturel qui touche la plupart des matériaux de construction : béton, mortier, etc. Ces matériaux sont tous sensibles à l'action du CO₂ de l'atmosphère qui agit de façon continue. La corrosion des armatures peut débuter dans le cas du béton armé.

Une conséquence principale : la corrosion des armatures

- Les bétons des bâtiments et des ouvrages d'art sont touchés, notamment ceux qui sont exposés à de fortes teneurs en CO₂ atmosphérique (environnements urbain ou industriels, usines modernes, tunnels, etc.).
- Les pathologies en béton armé sont particulièrement liées par la corrosion (éclatements des parements). La rouille peut également exsuder vers la surface.

Des mesures et des modèles

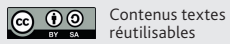
- Étude de microstructure
- Quantification du niveau de dégradation par des mesures sur site ou en laboratoire (indicateurs optiques ou analyses thermogravimétriques, spectroscopie, etc.)
- Évaluation des effets de la recarbonatation (recarbonatation)
- Modélisation : calcul de la durée de vie (phase de conception et de service)

Pour aller plus loin

M. Thiéry et al., *Comment intégrer quantitativement la carbonatation atmosphérique dans le bilan carbon des bétons ? Conférence GC'2009 organisée par l'AFGC, 18 et 19 mars 2009, Paris.*

M. Thiéry et al., *Carbonation Kinetics of a bed of recycled concrete aggregates: A laboratory study on model materials, Cement & Concrete Research, 2013.*

J.M. Torrenti, *Carbonatation accélérée de granulats de béton recyclé : le projet FastCarb, conférence Nomad 2018, Liège.*



Illustrations : Ifsttar

Article mis à jour en novembre 2018

Simplifions nous

Qu'apporte la science à notre société ?



Dans une logique d'ouverture à la société, nous avons choisi d'apposer à certains de 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.

la SCIENCE

Découvrez les contributions des scientifiques
dans nos dossiers thématiques.



<https://reflexscience.univ-gustave-eiffel.fr>

Service Diffusion des savoirs et ouverture à la société
Vice-Présidence Recherche
25, avenue François Mitterrand,
Cité des mobilités, F-69675 Bron Cedex
reflexscience@univ-eiffel.fr

Retrouvez tous nos contenus
multimédias sur



<https://reflexscience.univ-gustave-eiffel.fr>

L'Ifsttar est devenu l'Université Gustave Eiffel
au 1^{er} janvier 2020



Contact :

Service diffusion des savoirs et ouverture à la société (DSOS)
Campus de Lyon
25, avenue François Mitterrand
Case24
F-69675 Bron Cedex • FRANCE

email : reflexscience@univ-eiffel.fr

Conception maquette : STDI (Charlène Pineau) • Mise en page : STDI
Crédits photos, illustrations : Ifsttar, Epictura
Yves Soulabaille, Genier Deforge, Thomas Rault
Impression : Université Gustave Eiffel

Date de publication : Février 2013
Date de mise à jour : Novembre 2018