

Fiche Matériau: **BETON**

Analyse des impacts potentiels et recommandations

Ces fiches ont été réalisées dans le cadre d'un stage au sein du Centre de ressources Génie écologique de l'Office français de la biodiversité (OFB) intitulé « ÉCOCONCEPTION DES SOLUTIONS UTILISÉES DANS LE CADRE DU GÉNIE ÉCOLOGIQUE » (Camille Kuntz, 2019)

Elles s'adressent à l'ensemble des acteurs impliqués dans la conception, le pilotage, le financement, la mise en œuvre et la réalisation de projets de génie écologique. Ce premier travail a vocation à être enrichi et alimenté.

I. Enjeux

Le béton est un matériau composite composé de matières inertes (granulats, sable) et d'un liant (ciment, argile, bitume). On rajoute à ces éléments de base des adjuvants pour rajouter des propriétés au béton. On le retrouve dans le génie écologique surtout au niveau des récifs artificiels pour la création d'habitat.

II. Matières premières

Les granulats sont des fragments de roche. Il s'agit de la première ressource du sous-sol exploitée en France. Ces granulats peuvent être extraits de carrières terrestres ou marines.

Les étapes du processus industriel pour les carrières terrestres sont les suivantes :

- Le **décapage** : la terre végétale et les roches altérées sont enlevées.
- **L'extraction** : elle peut se faire en milieu sec ou en milieu aquatique. En milieu sec, les granulats sont directement exploités avec des engins de chantier. En milieu immergé, des engins flottants peuvent être utilisés. Enfin, dans les carrières de roches massives, des explosifs peuvent être nécessaires.
- Le **transfert** vers les lieux de traitements : il peut se faire en continu ou en discontinu.
- Le **traitement** : Les granulats sont fragmentés, criblés, lavés et stockés temporairement. Le lavage permet d'éliminer les fines polluantes. Les eaux de lavage sont ensuite traitées afin de pouvoir être renvoyées vers le milieu naturel.
- Le **stockage** et la **livraison** : Les granulats sont stockés puis livrés par train, camion ou péniche.¹

Dans le cas d'extraction marine, il s'agit d'un dragage progressif réalisé par **pompage hydraulique**.



Schéma 1 - Étapes d'extraction de granulats en carrières terrestres

Les **impacts environnementaux** potentiels de l'extraction des granulats peuvent être des perturbations chimiques, biologiques et physiques.^{2,3} D'autres impacts peuvent être observés tels que la **destruction** d'habitat, l'altération de paysages, une diminution de la fonctionnalité écologique, la dégradation de la qualité de l'eau, etc.⁴

Cependant, en France et en Europe, des **réglementations** sont mises en place pour réduire ces impacts environnementaux et prendre en compte la biodiversité.

Le ciment est un liant hydraulique utilisé le plus souvent pour le béton servant de dallages de parpaings, d'enduits ou de mortiers.

Il est composé à l'origine de calcaire et d'argile qui en réagissant avec l'eau permettent l'agglomération des granulats du béton. De nombreux éléments sont aussi incorporés pour ajouter des propriétés au béton. La production du ciment demande **beaucoup d'énergie** et la fabrication du clinker, le principal constituant, est responsable d'approximativement **8 % des émissions de CO₂ anthropiques**.⁵



LE SAVIEZ-VOUS ?

Le sable est la deuxième ressource naturelle la plus exploitée après l'eau.



CHIFFRE

CLÉ :

La fabrication du clinker est responsable de 8% des émissions mondiales de CO₂.

La méthode de fabrication du ciment se décompose en trois étapes :

- la préparation du cru
- la cuisson
- le broyage et le conditionnement

La composition de base des **ciments** repose sur des silicates et des aluminates de calcium résultant de la réaction entre la chaux, la silice, l'alumine et l'oxyde de fer. La chaux est présente dans le **calcaire** et les autres éléments sont présents dans **l'argile**.

Une étape d'extraction de calcaire et d'argile est donc nécessaire. Les carrières de calcaire et d'argiles ont les mêmes conséquences environnementales que l'extraction des granulats ou du sable. Elles ont aussi des réglementations strictes en France et en Europe. De plus, l'argile a une grande surface d'adsorption ce qui implique une possible concentration de polluants comme du plomb ou des dioxines si les carrières sont polluées. La qualité de l'argile est donc contrôlée en Europe et en France.



RECOMMANDATION :

Renseignez vous sur l'origine des matières premières utilisées pour votre béton. Prférez des matières premières locales et certifiées.

Le mélange d'argile et de calcaire est introduit dans un four allant jusqu'à 2000°C. Le produit obtenu après refroidissement rapide est le **clinker**. Des métaux lourds peuvent être présents dans le clinker soit à cause de la pureté de l'argile et du calcaire de départ soit à cause des combustibles alternatifs utilisés. Si le ciment est mal dosé ou le béton de mauvaise qualité, ces **métaux lourds peuvent être en partie lessivés**.⁶

Les principaux producteurs de ciment sont la **Chine** (59,4%), **l'Inde** (6,9%), les **États-Unis** (1,9%), **l'Iran** et la **Turquie** (1,8 %). (Fig.1)⁷

Les cimenteries sont parmi les installations les plus polluantes en raison des fumées, vapeurs et envols de poussières.

Le béton est donc un mélange de matières minérales, d'un liant hydraulique et d'eau. A cela s'ajoute des adjuvants. Il s'agit de produits incorporés au moment du malaxage du béton qui permettent d'ajouter des propriétés au béton. Il en existe de plusieurs sortes : les **superplastifiants**, les **plastifiants**, les **accélérateurs** ou **retardateurs** de prise, les **réteuteurs** d'eau, les **hydrofuges** de masse. Certains de ces

adjuvants sont composés de **molécules organiques toxiques** et issus de la pétrochimie.

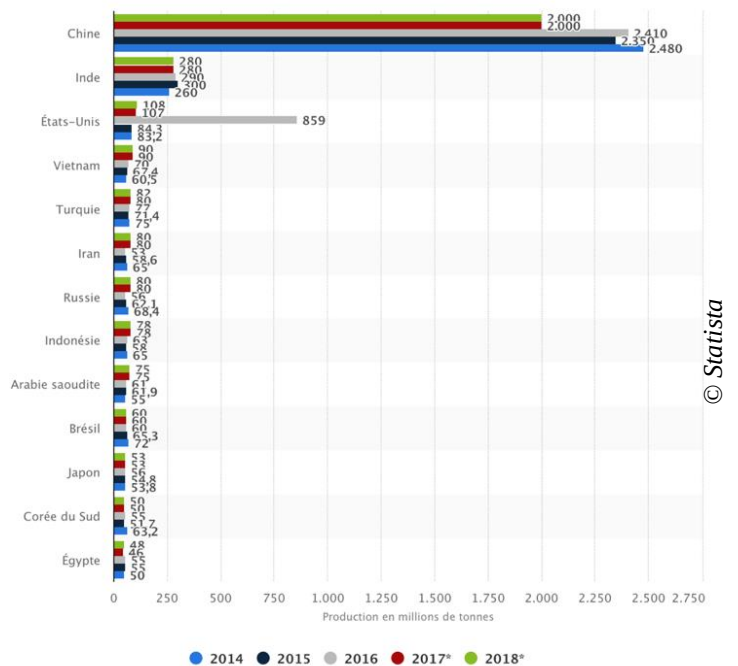


Figure 1 - Principaux pays producteurs de ciment dans le monde entre 2014 et 2018 (en millions de tonnes)

Le béton marin possède certaines particularités pour réduire les phénomènes de dégradation dus aux conditions agressives dont l'eau de mer est responsable. Ces particularités sont : une compacité qui réduit la perméabilité et la diffusivité, une teneur en aluminates réduite et une augmentation d'additions minérales permettant de réduire la teneur en hydroxyde de calcium : cendres volantes ; pouzzolanes, laitier de haut fourneau....⁸ Certains de ces additifs contiennent des **produits cancérigènes et toxiques** comme des métaux lourds (les cendres volantes contiennent du mercure).⁹

III. Fabrication

La confection du béton consiste à malaxer les granulats, le ciment et l'eau, chacun dans des proportions bien précises. L'excès d'eau augmente la porosité du béton et altère ses résistances mécaniques et sa durabilité. Pour un **1 m³ béton** classique, **125 L d'eau** sont consommés. Le béton est fabriqué dans des **centrales à béton** ou dans des **usines de préfabrication** qui utilisent directement le matériau produit en fabriquant des éléments en béton avec des **moules** pour sortir des pièces aux formes voulues.

IV. Utilisation

Au cours du temps, le béton utilisé dans les récifs artificiels va se dégrader. Les ions calcium du béton vont être consommés en réagissant avec le chlorure de sodium présent dans l'eau de mer pour former du chlorure de calcium qui va lui-même réagir pour former du monochloroaluminat de calcium. Cet élément réduit certes les ions libres et donc **limite la corrosion** de l'acier s'il y en a dans l'ouvrage mais peut aussi réagir par action des sulfates présents dans l'eau salée pour former de l'ettringite qui est responsable de **l'expansion**. L'expansion se traduit par une **fissuration** et un **éclatement** superficiel du béton. Les fissures facilitent alors le passage des ions agressifs et accélèrent le processus de **dégradation**.

Dans les zones d'aspersion et de marnage, le chlorure de sodium subit de cycle de cristallisation-dissolution, accentuant **l'écaillage de surface**.

Le béton peut aussi subir la **lixiviation** qui consiste en la mise en solution des constituants du béton, ce qui conduit à une augmentation de la porosité et à une dégradation plus rapide.

La chaux, constituant du béton, peut aussi réagir avec du chlorure de magnésium présent dans le milieu marin pour former de la brucite qui ralentit la progression des ions agressifs dans le béton et donc limiter la dégradation. Cependant, il peut aussi se produire des substitutions du calcium par du magnésium dans la matrice originelle du béton. Cette « nouvelle » matrice est **moins compacte** et donc **moins résistante**.

La chaux peut aussi réagir avec du sulfate de magnésium pour former du gypse, potentiellement **expansive**.

Présent sous la forme de bicarbonate de potassium, le CO₂ dissout l'hydroxyde de calcium pour former du carbonate de calcium qui précipite sous la forme de calcite. La calcite peut **atténuer** les processus **d'altération** chimique.

La thaumasite, potentiellement **expansive** aussi, peut se former lors de la dégradation du béton.¹⁰

La dégradation du béton va induire le relargage des **adjuvants** présents dans sa composition. Comme dit précédemment, ces adjuvants sont souvent des **molécules organiques et toxiques**. Par exemple, les sels sulfonés peuvent être utilisés comme superplastifiants dans certains bétons. Il sont composés de naphtalène et de formaldéhyde. D'après la fiche de données de sécurité, le **naphtalène** est **nocif** en cas d'ingestion, susceptible de provoquer le **cancer** et **très toxique pour les organismes aquatiques**, entraîne des **effets néfastes à long terme**.¹¹ Le **formaldéhyde** est **toxique** en cas d'ingestion, **toxique** par **contact cutané**, provoque des **brûlures** de la peau et des **lésions oculaires** graves, **toxique** par **inhalation** et peut provoquer le **cancer**.¹² Autre exemple, les hydrofuges de masse qui permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores sont souvent des stéarates de sodium qui sont toxiques pour les organismes aquatiques et entraînent des effets néfastes à long terme. En plus des adjuvants, des métaux lourds peuvent aussi être relargués.¹³



A CREUSER :

- Quelle est la proportion d'adjuvant relarguée dans le milieu naturel ?
- Quelle est la concentration d'adjuvant pouvant être présente dans le biofilm en contact avec le béton marin ?
- Est-ce que ces adjuvants peuvent être transmis au biofilm et si oui sont-ils bioaccumulés tout au long de la chaîne alimentaire ?

Concernant les **métaux lourds**, des expériences ont été réalisées pour étudier leur relargage dans différentes conditions. Dans des conditions fortement agressives (eau acidifiée), après 1000 heures d'essai, 0,5 % au maximum des métaux en traces sont relargués, alors que dans le même temps environ 5% du calcium et de l'ordre de 30% des alcalins sont passés dans la solution lixivante. Les métaux sont piégés dans les matrices du béton et sont **relargués** lors de la **dissolution de ces matrices**.⁶

V. Fin de vie

Le béton marin peut avoir une durée de **vie supérieure à 50 ans**. La fin de vie du béton consisterait donc à la **dégradation totale** de l'ouvrage ou à son **enfouissement**. Dans le cas de la dégradation totale de l'ouvrage, les conséquences environnementales seraient minimisées du fait de **l'inertie** de la grande majorité des composants du béton.

Cependant, ces composés ne sont pas présents dans l'écosystème normalement, leur ajout pourrait conduire à des **perturbations**. De plus même si une grande partie des constituants est inerte, il reste les **adjuvants** et les **impuretés** présents dans le béton et ayant des **caractères toxiques** pour certains d'entre eux. De même, l'enfouissement des ouvrages pourraient avoir des conséquences sur les écosystèmes ayant colonisés ces milieux artificiels.

VI. Perspectives

De nombreuses recherches sont réalisées pour fabriquer des bétons dits **biosourcés** (fig.2.). Cependant, même si une partie de leurs matières premières est remplacée par des matières d'**origine naturelle** comme le chanvre, une grande proportion reste des matières conventionnelles. Un béton biosourcé ne veut pas dire non plus un béton sans adjuvants ni impuretés, cela peut même être le contraire puisque parfois la proportion d'adjuvant est plus importante dans un béton biosourcé pour pouvoir atteindre les propriétés souhaitées. Il faut donc continuer à **développer la recherche** sur ces sujets.

Relue et corrigée par Patrice Francour, professeur des Universités et directeur-adjoint du laboratoire ECOMERS.

Relue et corrigée par certains membres du Comité scientifique et technique du centre de ressources Génie écologique de l'Office français de la biodiversité.



© Biosys

Figure 2 - Bloc de béton en chanvre

VII. Bibliographie

1. UNPG. Les carrières terrestres : les 5 étapes du processus industriel. (2019). Available at: <http://www.unpg.fr/accueil/nos-activites/comment-sont-ils-produits/les-carrieres-terrestres/>.
2. Meador, M. R. & Layher, A. O. Instream Sand and Gravel Mining: Environmental Issues and Regulatory Process in the United States. *Fisheries* **23**, 6–13 (1998).
3. Kori, E. & Mathada, H. An Assessment of Environmental Impacts of Sand and Gravel Mining In Nzhelele Valley, Limpopo Province, South Africa. *Int. Proc. Chem. Biol. Environ. Eng.* **46**, (2012).
4. Langer, W. H. A General Overview of the Technology of In-Stream Mining of Sand and Gravel Resources, Associated Potential Environmental Impacts, and Methods to Control Potential Impacts. *Geol. Surv. Open-File Rep.* 44 (2003).
5. Shen, W. *et al.* Quantifying CO₂ emissions from China's cement industry. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **50**, 1004–1012 (2015).
6. Moudilou, E. Cinétiques et mécanismes de relargage des métaux lourds présents en traces dans les matrices cimentaires. (2000).
7. Statista. Principaux pays producteurs de ciment dans le monde entre 2014 et 2018 (en millions de tonnes). (2019). Available at: <https://fr.statista.com/statistiques/570415/principaux-pays-producteurs-de-ciment-dans-le-monde/>.
8. Baweja, D., Roper, H. & Sirivivatnanon, V. Specification of concrete for marine environments: a fresh approach. *ACI Mater. J.* **12** (1999).
9. Research Triangle Institute. Human and Ecological Risk Assessment of Coal Combustion Wastes. (2007).
10. Buenfeld, N. R. & Newman, J. B. The development and stability of surface layers on concrete exposed to sea-water. *Cem. Concr. Res.* **16**, 721–732 (1986).
11. SigmaAldrich. Fiche de données de sécurité - Naphtalene. (2018).
12. SigmaAldrich. fiche de données de sécurité - Formaldéhyde. (2019).
13. Müllauer, W., Beddoe, R. E. & Heinz, D. Leaching behaviour of major and trace elements from concrete: Effect of fly ash and GGBS. *Cem. Concr. Compos.* **58**, 129–139 (2015).