



Journées Techniques : le Génie Civil en transition

**Du béton biogène pour
favoriser la biodiversité
marine dans des ouvrages
maritimes eco-conçus**

Frédéric MARTARECHE – SEABOOST - France
frederic.martareche@seaboost.fr

Sommaire

- Introduction
- Quels enjeux ?
- Sur quels paramètres jouer ?
- Dans quelles limites ?
- Expériences
 - de formulations
 - de structures
 - d'inclusions dans des structures
- Enseignements et perspectives
- Conclusions

Introduction

Qu'il s'agisse de récifs artificiels, d'émissaire en mer, de fondations d'éoliennes offshore, de mouillages, de quais, de carapace de digues, etc... nous sommes amenés à immerger des ouvrages

Non, tous les matériaux ne se valent pas en termes d'attractivité biologique (≠ tout objet finit par se coloniser)

=> intérêt du choix de matériaux les plus propices au développement de la vie



Oui donc à l'emploi de matériaux biogènes

..... **mais** dans le respect des contraintes :

- de performance
- et de budget

Question: le compromis existe-t-il?

Quels enjeux?

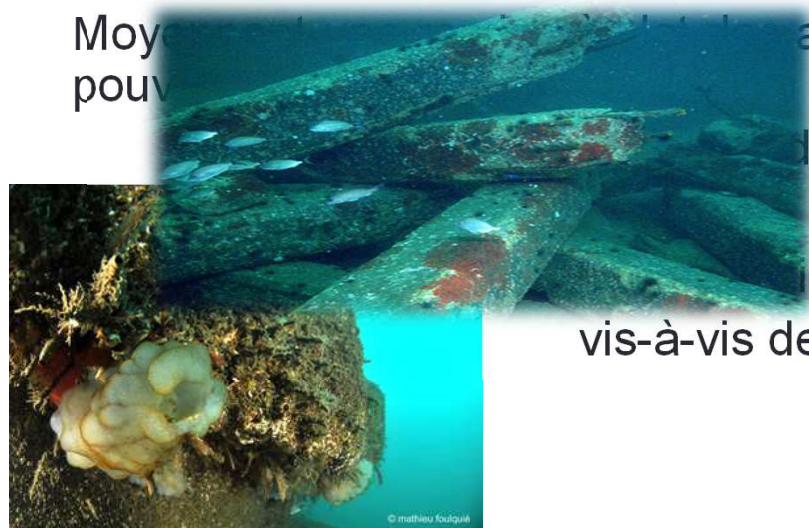
En terme de colonisation ... le béton a mauvaise presse!

Il est pourtant: solide, inerte, durable, facile à mettre en forme, ... et le plus souvent très économique.

Ses défauts:

- souvent sa fonctionnalité conduit à une forme « utile », sans complexité
- le guide « béton marin » recommande de fermer au maximum
- surface de contact répulsive: pH, glacis cimentaire, ...

Moyennant quelques automatismes et idées reçues, on doit pouvoir concevoir un **biogène** favorisant une colonisation: durable



éliminatoire
vis-à-vis des espèces



Sur quels paramètres jouer?

1/4

- Micro-complexité et porosité de surface

en sus des anfractuosités obtenues par la création de cavités dans le béton (action au niveau des coffrages)

Objectif: créer des anfractuosités (= porosité) facilitant l'accrochage

Techniques: Lavage haute pression, sablage, désactivation physique ou chimique, ...

Inconvénients: coût, organisation, toxicité des produits chimiques;

Une porosité élevée favorise la pénétration d'agents pouvant réduire la durabilité du béton en profondeur

Pistes à creuser: entraîneur d'air, passivant réellement biocompatible



Sur quels paramètres jouer?

2/4

- Macro-texture de surface (rugosité)

Objectif: favoriser le développement du fouling (par opposition à une surface lisse)

Techniques: traitement mécanique (brossage, sablage, bouchardage), désactivation physique ou chimique, cloutage fraction granulaire, voire granulats bio-attractifs, matrice en fond de moule, ...

Inconvénients: incidence sur l'organisation; produits chimiques (risques de relargage ?)

Pistes à creuser: passivant réellement biocompatible



Sur quels paramètres jouer? 3/4

- pH

Objectif: diminuer le pH très basique (dû au ciment silico-calcaïque), peu propice au développement de certaines espèces

Techniques: choix de ciment avec addition pouzzolanique ou laitier, ciment sulfo alumineux, recherche de granulats « acides », granulats siliceux

Traitement surfacique: carbonatation accélérée, immersion dans une eau déminéralisée

Inconvénients:

- un pH élevé protège les armatures => une diminution du pH augmente le risque de corrosion.
- choix des ciments/ granulats non standards: coût, organisation de l'approvisionnement, formulation non classique pour la centrale, ...
- Traitement de surface: coût, désorganisation de la production, diminution des caractéristiques mécaniques du béton

Pistes à creuser: déterminer un pH cible raisonnable

Sur quels paramètres jouer? 4/4

- **Caractéristiques chimiques**

Objectif: introduire en surface du béton des éléments favorisant la biodiversité, et inversement supprimer tout élément toxique ou nuisible au développement des espèces

Techniques: formulation avec des matériaux coquilliers, utilisation d'adjuvant bio stimulateur, élimination des adjuvants susceptibles de relargage (écotoxiques).

Inconvénients: coût, organisation de l'approvisionnement, formulation non classique pour la centrale, diminution des caractéristiques mécaniques du béton

Pistes à creuser: identifier les éléments favorisant la biodiversité

Dans quelles limites ?

Contraintes de performance

Qu'il s'agisse de récifs, de lests, de fondations d'éoliennes offshore, de carapaces de digue, de murs de quai, ...

L'ouvrage doit conserver ses performances et sa durabilité

Or béton biogène = béton (plus ou moins) dégradé!

En particulier béton ouvert = augmentation des risques de corrosion des armatures => on ne peut plus utiliser de béton armé!

=>question: diminution des performances compatibles avec fonctionnalité ?

Si non, apport biogène par inclusions

Contraintes budgétaires.

L'amélioration écologique doit rester dans le budget

Or béton biogène = béton plus cher (fourniture, fabrication, mise en œuvre)

=> Attention aux composants ou techniques magiques (exemple pH neutre) ... mais au coût exorbitant!

Expériences empiriques

Une démarche pragmatique en 3 phases concomitantes

- Essais de formulations (constitution de galettes de béton, immergées pour une analyse très sommaire) en auto-financement
- Réalisation de structures en béton « spécial » à l'occasion de marchés publics
- Insertion d'éléments en béton biogène au sein de structure massive en béton marin classique

Pas de protocole scientifique de suivi => pas de publication,
mais identifications de pistes prometteuses,
+ essais de variation d'arrangement (exemple Corse 15 récifs = 6
arrangements différents testés)

Expériences de formulations

Galettes test

1. Fabrication



2. Immersion et suivi

(Manche – été 2014 – en cours)



Expériences de structures

Récifs et lests

Cap d'Agde 2009

Prototype sans acier 2010

Propriano (Corse 2011)

Mise au point:

Béton biogène (substitution d'une partie des sables de carrières par des sables coquilliers)

Traitement des surfaces

Suppression des aciers d'armatures (béton fibré)

Liaison des éléments (plaques ou demi coquilles) par tige fibre de verre

Bilan: modules de 15 tonnes sans aucun acier

Nota: les efforts de manutention sur le quai sont supérieurs aux efforts que subira l'ouvrage (déjaugé) après immersion.

Expériences de structures

tests

Béton coquillier fibré



Essai arrachement barre fibre de verre



Récifs Propriano (2011)



Exemple d'eco-conception d'ouvrage fonctionnel

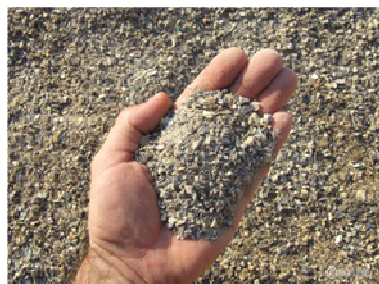


Lests de conduite



Expériences d'inclusions dans des structures

Blocs de carapace de digues (2014)



1. Préparation des sables coquilliers



2 Fabrication de tuiles en béton biogène



3. Insertion dans les blocs de carapace (Xblocs DMC)

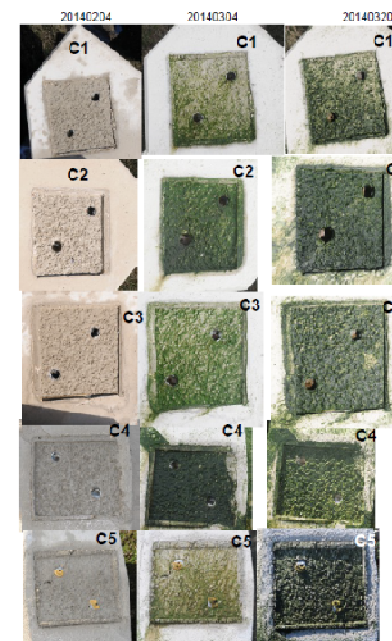
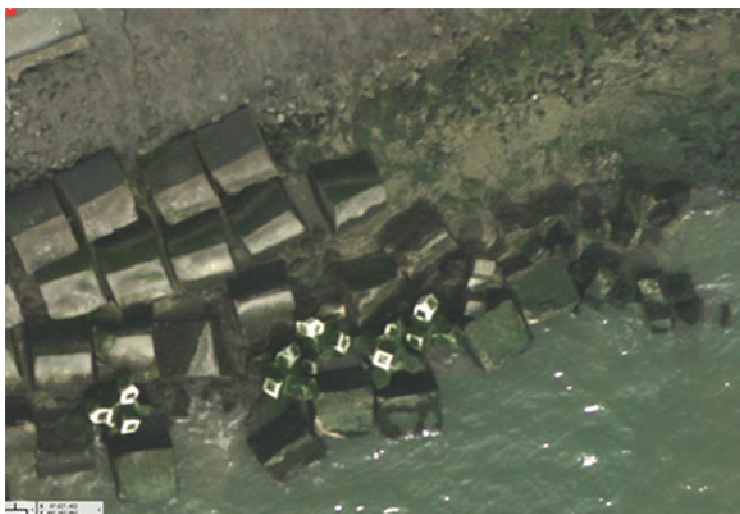
Expériences d'inclusions dans des structures massives



Mise en place des Xblocs
IJMuiden – Pays Bas



Suivi de la colonisation



Enseignements et perspectives

Enseignements

Suivi compliqué et analyse difficile car paramètres influant nombreux (éclairage, exposition aux courants, etc.)

.... Mais il faut quand même quelques pistes à suivre pour tenter d'améliorer le potentiel écologique des ouvrages à la mer.

Pistes de développement

- ➔ Interactions béton / milieu marin (notamment relargage)
- ➔ Paramètres influant sur la colonisation
- ➔ Apport des adjuvants biostimulateurs
- ➔

En conclusion

La mise au point de béton biogène mérite toute notre attention
.... mais l'amélioration de la fonctionnalité écologique ne peut se faire au détriment :

- des performances requises pour l'ouvrage
- de la maîtrise des coûts (et délais)

Nombreuses démarches en cours ... mais pas beaucoup de conclusions claires pour les constructeurs

Le produit miracle universel n'existe pas

Une multitude de contextes (hauteur d'eau, houle, courant, nature des fonds, ...), de contraintes et d'usages justifie une multiplicité des solutions

Conclusions

- L'enjeu (mondial) et l'urgence de la préservation de la biodiversité marine justifient la mutualisation des enseignements obtenus lors des expériences menées par les uns et les autres.
- La démarche de mise au point de béton biogène pertinent requiert des contributions croisées des acteurs du monde du béton (labos, industriels, BET, entreprises) et ceux du monde de la biologie marine.
- Les acteurs français, notamment du monde scientifique, sont plutôt bien placés. Il y a une carte à jouer pour les entreprises françaises pour présenter des éléments différenciant auprès des donneurs d'ordre à l'international.



**Merci pour votre
attention**

frederic.martareche@seaboost.fr

**MISE AU POINT D'INCLUSIONS EN BÉTON BIOGÈNE
DANS DES OUVRAGES STRUCTURELS COMPLEXES**