



### **Science Arts & Métiers (SAM)**

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/20135>

#### **To cite this version :**

N. BEAUJARD, N. REILLY, A. ZANIBELLATO, N. VERJAT, Agnes FABRE - Résistance à l'usure abrasive du Géocorail : agrégat naturel développé en milieu maritime - In: Journées Internationales Francophones de Tribologie (JIFT 2019), France, 2019-04-24 - 500 ans de tribologie De la renaissance à nos jours - 2021

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [scienceouverte@ensam.eu](mailto:scienceouverte@ensam.eu)



# Résistance à l'usure abrasive du Geocorail : agrégat naturel développé en milieu maritime

---

**A. Fabre<sup>1</sup>, N. Beaujard<sup>1</sup>, N. Reilly<sup>1</sup>, A. Zanibellato<sup>2</sup>, N. Verjat<sup>2</sup>**

*1. Laboratoire MSMP, EA7350, Arts et Métiers ParisTech, 2 cours des Arts et Métiers, 13617, Aix-en-P.*

*2.GEOCORAIL SAS, 4 rue Gaston Castel, 13016, Marseille, France*

## Introduction

Le GEOCORAIL est un matériau obtenu en milieu maritime naturel, par la croissance autour d'une électrode d'acier. Ce matériau est un agrégat fortement hétérogène car constitué par des résidus présents in situ (sable, coquillage), liés et emprisonnés par un dépôt calco-magnésien [1,2,3]. La Start-Up éponyme a pour objectif de développer ce matériau pour l'utiliser dans l'éco-conception d'aménagements littoraux, la protection des côtes contre l'érosion naturelle, la consolidation d'ouvrages maritimes ou off-shore, etc...

Afin de développer un produit spécifique et digne d'intérêt, cette société a souhaité identifier les grands paramètres pilotes de la croissance du GEOCORAIL et analyser la qualité, les comportements mécaniques afférents aux différents agrégats obtenus.

L'étude menée au laboratoire MSMP a permis d'identifier des critères de comportement mécanique à partir de nombreux essais de flexion notamment sur une grande série d'agrégats obtenus dans le cadre d'un large plan d'expériences de croissance avec des paramètres différents comme la tension de pilotage électrolytique, la granulométrie du sable. Quelques agrégats parmi ceux classés comme les plus robustes mécaniquement ont ensuite été utilisés pour établir une analyse sur leur réponse à l'usure abrasive.

Cet article traite de l'étude en abrasion, portant tout d'abord, sur la définition d'un essai et d'un protocole adapté. Puis, les résultats obtenus pour quelques agrégats résistants mécaniquement en flexion sont présentés et comparés à la pierre naturelle sédimentaire du Pont du Gard, appelée « pierre de Vers » et à un mortier à sable normalisé.

## Agrégat

Les échantillons de GEOCORAIL ont été obtenus par immersion de grilles métalliques dans de l'eau de mer pendant une période variant de 1 mois à 13 mois. Utilisées couramment en ferronnerie et serrurerie, ces grilles de maille de 25 mm de large, réalisées à partir de fil d'acier de 2,7 mm de diamètre constituant, pendant la période d'immersion, les cathodes du système. Elles sont enfouies dans le sable, à différentes profondeurs. Trois niveaux de granulométrie différents ont été utilisés : sable fin allant de 200 à 500 micromètres, sable moyen allant de 400 à 800 micromètres, sable grossier allant de 1 à 2,5 mm en valeur des diamètres. Les différents paramètres de pilotage électrique n'ont volontairement pas été connus afin de mener l'analyse de résistance mécanique en aveugle pour ne pas biaiser les résultats.

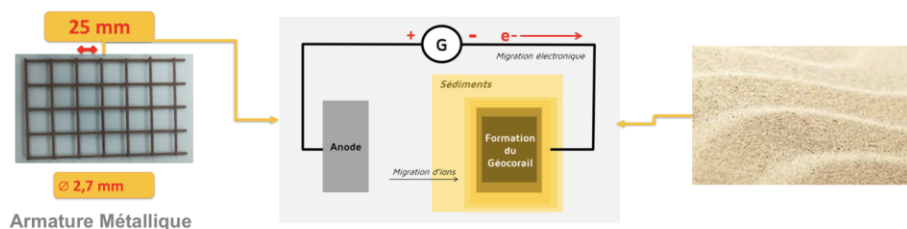


Figure 1 : Création du GEOCORAIL

Les échantillons obtenus présentent une géométrie très variable et pour certains très irrégulière, comme cela est visible sur la figure 2. . Peu de mailles sont refermées car le processus de croissance est assez lent. La croissance en milieu naturel (sable + sédiments dans la mer) est semblable comme nous pouvons le distinguer sur la droite de la figure 2

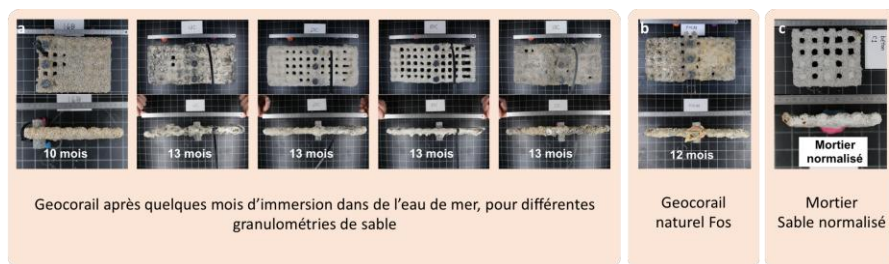


Figure 2 : Géocorail obtenus après quelques mois d'immersion dans l'eau de mer, à gauche, pour différentes granulométries de sable, à droite pour du sable et sédiments marins naturels.

Afin de mener à bien une analyse de la réponse à l'abrasion, nous avons sélectionnés 5 GEOCORAIL de différentes granulométries contrôlées (7C fin, 12C et 27 C moyen, 13C et 16B grossier, cf. figure 2a), 1 GEOCORAIL naturel obtenu par sédiments et grains calibrés de sable siliceux (cf. figure 2b). Par

ailleurs, un échantillon de mortier avec sable normalisé a pu être obtenu à la géométrie d'un géocorail par une technique de moulage de réplication, (cf. figure 2c). Des parties de ces macro-échantillons sélectionnés ont été prélevées pour les tests d'abrasion par découpe au jet d'eau hyperbare.

### Protocole d'essai

L'épaisseur des échantillons est de l'ordre de 10 mm après une dizaine de mois d'immersion. Face à cette géométrie trop petite pour mettre en place des essais d'usure abrasive normalisés pour des pierres naturelles [4, 5], nous avons choisi de définir un essai spécifique d'usure abrasive. Tout d'abord, il nous a semblé adéquat de mettre en place un essai de frottement lubrifié pour représenter l'environnement maritime dans lequel ce type de matériau doit exister. C'est à l'aide d'une polisseuse automatique que nous avons pu réaliser un pilotage en charge, en vitesse et en durée pour mettre en œuvre un essai reproductible de frottement des trois échantillons enrobés contre du papier abrasif SiC, à forte granulométrie (P180). Des essais préalables nous ont permis de voir que le taux d'usure était reproductible sur différents cycles d'essais, à condition de maintenir le pouvoir abrasif du papier SiC. Ce comportement quasi linéaire est visible sur la Figure 3, qui présente la perte de hauteur de l'échantillon usé (proportionnel au taux d'usure) en fonction des cycles. Nous avons donc choisi de mener des essais de quelques cycles, avec une durée de 30 s par cycle, avec papier neuf au démarrage de chaque cycle. La vitesse de 100 tr/min et la charge globale de 89 N avaient été précédemment testées pour générer des taux d'usure suffisants pour être quantifiables significativement après chaque cycle.

Face à l'hétérogénéité du matériau, présentant des taux de porosité importants, l'irrégularité de la macro-géométrie et de la microgéométrie des surfaces, qui sont autant de facteurs d'influence potentiels sur le résultat, nous avons choisi de prélever des échantillons compacts et de faire un suivi des surfaces soumises à l'usure.

Aucune solution réalisable, sans endommager le géocorail n'a pu être déployée afin de retirer l'armature métallique de la structure. L'influence de la tige sur la résistance à l'abrasion du géocorail supposée majeure a été vérifiée lors d'une série de tests. Il a été décidé de maintenir en place la tige et prélever les échantillons pour l'abrasion suivant une section droite autour de l'armature (cf. Figure 4), la tige jouant un rôle semblable pour tous les échantillons ensuite. Cette disposition permet par ailleurs de réduire les évolutions de surface des échantillons en termes d'aire de contact en fonction des différents cycles d'usure.

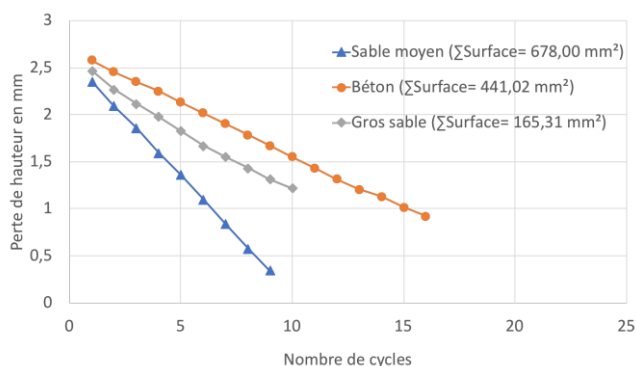


Figure 3 : Évolution de la perte de hauteur par cycle d'usure.

Afin d'analyser les variations de réponses aux essais en fonction des sections des échantillons, nous avons réalisé des essais pour une surface d'aires cumulées soit d'environ 400 mm<sup>2</sup>, soit d'environ 900 mm<sup>2</sup> sur les 3 échantillons testés simultanément.

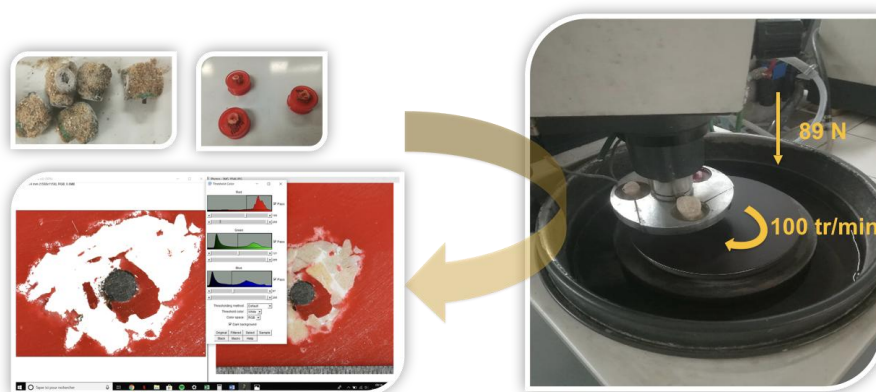


Figure 4 : Échantillons en cours de préparation (en haut à gauche), estimation de la surface de contact par analyse d'image (en bas à gauche) et position des échantillons sur la polisseuse (à droite).

## Résultats

Les essais menés sur les surfaces de 900 mm<sup>2</sup>, ont permis de constater que la perte de hauteur moyenne par cycle est comparable et sensiblement égale à 0,05 mm (cf. Figure 5). Les écart-types très variables pour le 16B et le 13C pourraient être corrélés avec la granulométrie grossière du sable, mais cette piste doit être confirmée ultérieurement. Néanmoins, nous pouvons voir que la résistance à l'usure des Georails est quasi équivalente à celle du mortier normalisé.

La Figure 6 présente des résultats complémentaires aux précédents, permettant de noter que la surface de contact a bien une influence sur la perte de hauteur

par abrasion. Une corrélation simple entre surface de contact et taux d'usure n'a pour autant pas pu être encore établie. L'échantillon testé 7C à faible granulométrie et forte hétérogénéité, présente de très fortes dispersions dans les résultats.

Enfin, un échantillon de pierre de Vers (pierre naturelle sédimentaire qui a été utilisée par les Romains pour construire le Pont du Gard) a été testé dans les mêmes conditions. De façon globale, nous constatons sur ces derniers résultats que la résistance à l'usure abrasive du Geocorail est 2 fois supérieure à celle de la pierre de Vers.

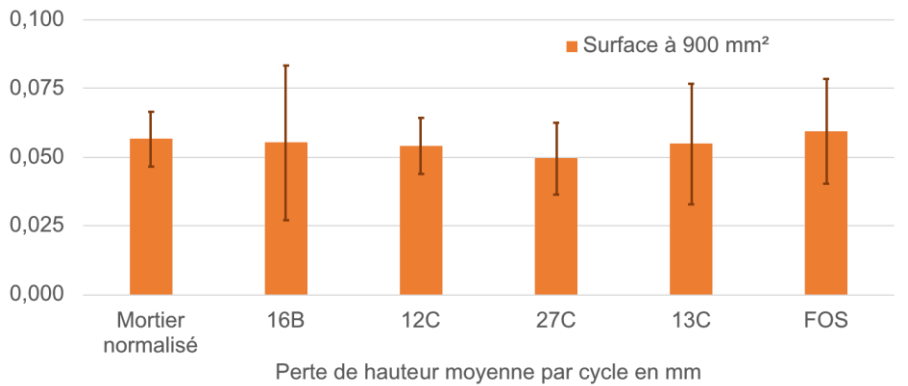


Figure 5 : Perte moyenne de hauteur des échantillons par cycle d'usure pour des échantillons de mortier normalisé, de geocorail à sable de granulométries contrôlées et de geocorail obtenu en milieu naturel à Fos.

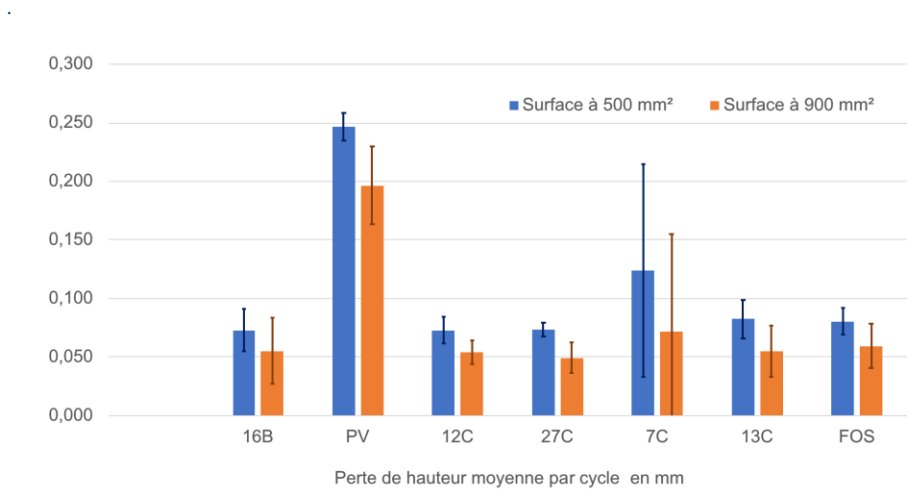


Figure 6 : Perte moyenne de hauteur des échantillons par cycle d'usure pour des surfaces (cumulées) de contact estimées à 500 ou 900 mm².

## Conclusion

Nous avons mis en place un essai d'usure abrasif comparatif et testé des échantillons Geocorail de laboratoire sélectionnés parmi les plus résistants en flexion. Un échantillon obtenu en mer à Fos, ainsi qu'une réplique réalisée à l'aide d'un mortier à sable normalisé ont aussi été testés. Aux vues de nos résultats, il apparaît que la résistance à l'usure abrasive dans les conditions de tests semblables est quasi équivalente entre les Geocorails et le mortier à sable normalisé et serait 2 fois supérieure à celle de la pierre naturelle sédimentaire de Vers.

Cette investigation menée reste à être confirmée par des travaux ultérieurs notamment, dans un cadre plus large de paramètres d'essais (vitesse, pression).

## Bibliographie

- [1] Deslouis, C., D. Festy, O. Gil, V. Maillot, S. Touzain, and B. Tribollet, *Electrochimica Acta*, 2000. 45(11), 1837-1845.
- [2] Neville, A. and A.P. Morizot, *Journal of Crystal Growth*, 2002. 243(3–4), 490- 502.
- [3] Zanibellato A., *Synthèse et études électrochimiques d'un agglomérat calcomagnésien formé sur acier en milieu marin : un écomatériau pour la protection du littoral*. Thèse de l'Université de La Rochelle. 2016
- [4] NF EN 13892-3, 2015.
- [5] NF EN 14157, 2017.