

- Des structures granulaires inspirées des éponges - Une solution bio-inspirée appliquée à la préservation de l'environnement marin et à la protection côtière

Contexte

Les éponges ou spongiaires jouent un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes marins. Par exemple, une éponge d'un kilogramme peut filtrer environ 24 000 litres d'eau de mer par jour avec une efficacité de rétention des particules atteignant jusqu'à 99%. Le secret de ce pouvoir réside, entre autres, dans son squelette spécifique et unique dans le monde du vivant (cf. Fig.1-gauche). Il est constitué de spicules aux formes variées et complexes, répondant à des besoins mécaniques et physiologiques précis. Cette variété de formes (cf. Fig.1-droite), probablement façonnée par la sélection naturelle, pourrait être attribuée à une sorte de bio-cristallisation influencée par des forces mécaniques telles que la tension superficielle, la tension vésiculaire, et la résistance inégale des parties voisines. Pour former le squelette, les spicules s'agencent, croissent puis se soudent ou s'imbriquent les uns aux autres à la manière d'un puzzle tridimensionnel. Elles forment *in fine* des structures fonctionnelles optimales assurant le maintien des éponges et contribuant à leur fonction de nutrition par filtration. Ainsi, leurs bienfaits pour l'environnement marin pourraient nous inspirer pour la conception de structures mécaniques répondant à des besoins bien spécifiques et souvent antagonistes.

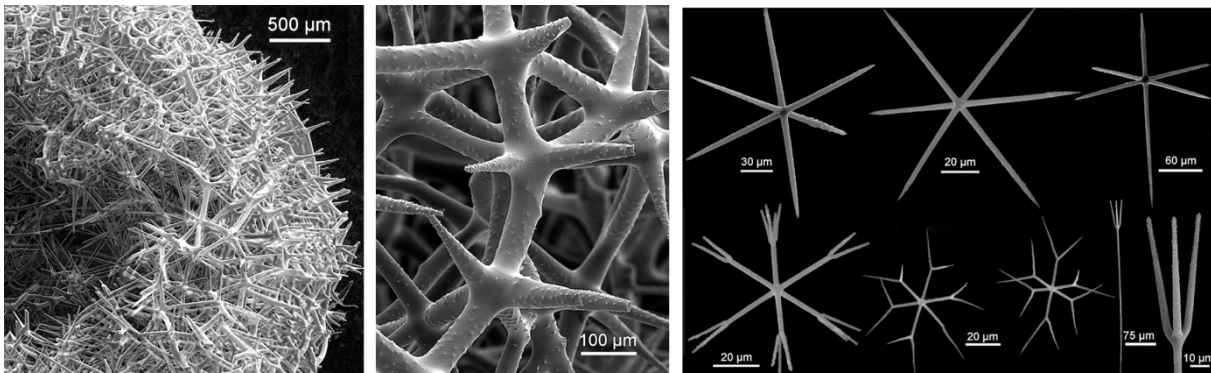


Figure 1 : (gauche) Squelette d'éponge formées de spicules (grains) imbriqués les uns dans les autres. (Milieu) Zoom de la figure de gauche. (droite) Variété de forme de spicules générées par les éponges.

En effet, l'Humanité à de tout temps utilisé « des grains » pour façonner l'environnement. Par exemple, 80% des matériaux utilisés dans l'industrie le sont sous forme de grains et la quasi-totalité des ouvrages de génie civil sont fabriqués à partir de matériaux granulaires, qu'ils soient cohésifs (béton) ou non (enrochement). Cependant, contrairement aux spicules, dans la majorité des cas, ces grains sont arrondis ou polygonaux et presque toujours convexes. Ce n'est que très récemment, qu'une poignée de mécaniciens, physiciens et autres architectes ont commencé à s'intéresser aux propriétés étonnantes des milieux granulaires formés de particules exotiques aux formes extrêmement concaves, qui ressemblent, à bien des égards, aux spicules des éponges. Ces milieux forment naturellement des structures très stables, capables de soutenir leur propre poids et pouvant se façonner sans limites, si bien qu'ils ont été envisagés dans certains projets architecturaux (cf. Fig.2-gauche). Des structures formées avec de tels grains sont déjà utilisées pour construire des digues destinées à la préservation des espaces côtiers (Fig.2-droite).



Figure 2 : (gauche) Structure granulaire composée de grains étoilés ; Credit karoladierichs.net. (droite) Exemple de digue construite avec des blocs de bétons non-convexes dans le Pas de Calais.

Suivant leur forme et degrés « d'exotisme », en s'enchevêtrant les grains peuvent conférer à la structure granulaire globale une « cohésion d'origine géométrique », ce qui donne naissance à une toute nouvelle classe de matériaux très poreux mais également très résistants et cela, sans ajout d'un quelconque liant de type cimentaire par exemple.

Problématique

Les stratégies employées actuellement par les architectes, mécaniciens et physiciens pour explorer le comportement de ces nouvelles structures sont pour l'heure purement et simplement empiriques : la conception des grains est arbitraire impliquant de fait un gaspillage des matières premières dans leur conception sans certitude sur la possible découverte d'une structure aux propriétés optimales. En effet, les recherches les plus récentes montrent qu'une petite variation de la géométrie de ces particules a une grande influence sur le comportement mécanique macroscopique de toute la structure. En pratique, la diversité de formes des grains est virtuellement infinie. Or, comme nous le montre la Nature au travers notamment des éponges et de leurs spicules – une solution existe – pour concevoir, depuis la forme primaire des grains (spicules), la structure qui possèdera les propriétés idéales, notamment pour un ouvrage destiné à la préservation de l'espace côtier.

De tels ouvrages doivent pouvoir être tout à la fois : suffisamment solides pour atténuer les effets de la houle, suffisamment poreux pour permettre à la faune et la flore marine de se développer à la manière de ce qu'offre les coraux naturels, esthétique pour se fondre dans la nature sans la dénaturer, facile à construire et à démonter, et capable de s'adapter au trait de côte en question sans le détruire. Pour toutes ces raisons, nous pensons que l'étude des structures naturelles type - squelettes de spicules - générées par les éponges est la clé pour une « conception raisonnée » de structures granulaires nouvelles.

Objectif général

L'objectif général du projet est de mettre en place une approche de type « granulaire-bio-inspirée » pour la conception de structures optimisées et innovantes, appliquées, notamment, à la protection côtière. Plus spécifiquement :

1) il conviendra de faire une étude exhaustive et quantitative des propriétés géométriques des différentes spicules rencontrées dans la nature,

2) étendre les approches DEM pour modéliser ces grains aux formes si exotiques. L'approche DEM permettra d'explorer des scénarios de genèse des squelettes d'éponges suivant (au moins) deux stratégies : *i*) purement mécanique par dépôt gravitaire ou compression dans une direction et *ii*) couplant des phénomènes biologiques tels que croissance cellulaire des bras des spicules. Les propriétés de remplissage, de résistance et la microstructure sous-jacente seront étudiées en fonction des différents scénarios,

3) fabriquer par impression 3D les structures numériques obtenues et d'étudier plus précisément leurs propriétés de filtration. L'expérience consistera, à la manière d'un silo, de faire écouler des grains de plus en plus fin au travers des structures construites et d'étudier les débits et blocages en fonctions des caractéristiques des structures poreuses obtenues.

Les données obtenues et les modèles développés permettront non seulement d'imaginer de nouvelles structures inspirées du vivant pour une meilleure préservation des ressources, mais également apporterons des connaissances nouvelles sur les mécanismes encore très méconnus de filtrations développés par les éponges dans leur milieu naturel.

Objectif pour le stage de Master 1

Le stage de Master 1 a pour enjeu principale de poser les bases de la nouvelle collaboration entre le LMGC, l'ISEM et le centre d'Océanologie de Marseille. Dans le cadre de ce stage une description la plus précise des formes des spicules est attendue ainsi que la mise en place des premiers modèles DEM-bio-inspirés.

Equipe

- LMGC (UM) : Jonathan Barès, Mathieu Renouf et Emilien Azéma,
- ISEM (UM) : Stephen Baghdiguian, Nelly Godefroy, Emilie Le-goff,
- Centre d'Océanologie de Marseille : Jean Vacelet.