

MATÉRIAUX DE STRUCTURES NATURELS ET BIOINSPIRÉS : LE CAS DE LA NACRE

Sylvain Deville

LSFC, UMR3080 CNRS/Saint-Gobain, sylvain.deville@saint-gobain.com

Mots-clés : biomatériau, matériau de structure, nacre, propriétés mécaniques, composites

Résumé

Les matériaux naturels fournissent une formidable source d'inspiration pour le développement de nouveaux matériaux Chen2008. Plus particulièrement, la nacre, présente dans de nombreux coquillages, est l'archétype d'une structure extrêmement tenace bien que composée de matériaux intrinsèquement fragiles (95% de carbonate de calcium) Barthelat2006. La structure complexe et hiérarchique de la nacre (Fig. 1) offre un modèle de design structural aussi fascinant que complexe à reproduire. Si la nature a fourni (involontairement, certes) les plans, les procédés manquent encore pour produire des structures inspirées de ces architectures naturelles, la difficulté principale provenant de l'aspect multi-échelle de la structure. Plus que le bio-mimétisme (la reproduction à l'identique de structures naturelles), la bio-inspiration peut apporter de réelles innovations, particulièrement dans le domaine des matériaux. De ce point de vue, des principes de design structuraux peuvent être tirés de l'étude de la nacre pour le développement de matériaux tenaces. Les mécanismes assurant à la nacre une ténacité importante sont nombreux.

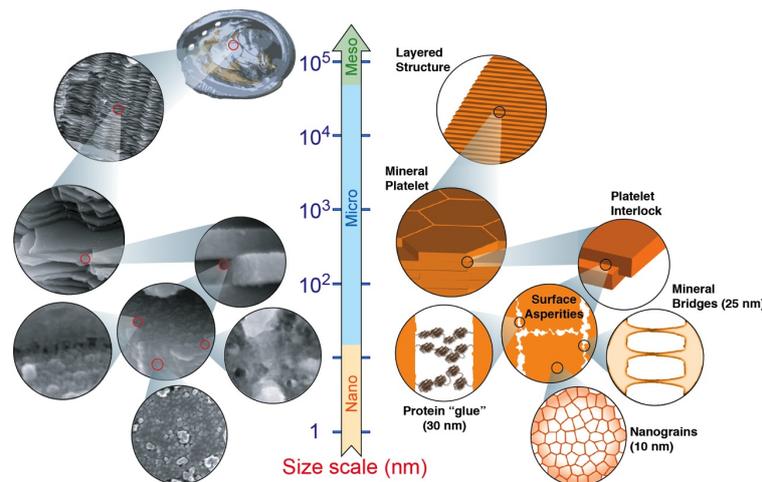


FIGURE 1 – Structure multi-échelle de la nacre. Chaque élément structural contribue aux propriétés mécaniques de ce composite naturel.

Dans cet exposé je décrirai dans un premier temps la structure de la nacre et les mécanismes de renforcement—permettant une dissipation d'énergie—associés aux éléments de structure identifiés à de nombreuses échelles. Je parcourerai ensuite les multiples procédés mis en oeuvre pour obtenir des matériaux inspirés de la nacre [3] (avec plus ou moins de succès), et les propriétés des matériaux obtenus. En parallèle, je décrirai brièvement les approches de modélisation mises en oeuvre pour comprendre et guider le design de ce type de matériaux bioinspirés [4, 5, 6].

De manière générale, les approches pour augmenter la ténacité ont basées sur l'introduction d'une phase ductile (métal ou polymère), assurant la dissipation d'énergie sous sollicitations [7]. Il a été également démontré qu'il est possible de développer de la ténacité dans des matériaux constitués uniquement de matériaux fragiles, présentant un comportement linéaire élastique. Ceci a été démontré de manière théorique [8] puis expérimentale [9]. Ces approches, encore récentes, ouvrent des perspectives intéressantes pour les matériaux de structure soumis à des conditions difficiles (température, corrosion).

Références

- [1] Chen, P.-Y. et al. Structure and mechanical properties of selected biological materials *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, 1, 208–26 (2008)
- [2] Barthelat, F., Li, C.-M., Comi, C. Espinosa, H. D. Mechanical properties of nacre constituents and their impact on mechanical performance *J. Mater. Res.* 21, 1977–1986 (2011).
- [3] Corni, I. et al. A review of experimental techniques to produce a nacre-like structure *Bioinspir. Biomim.*, 7, 031001 (2012)
- [4] Abid, N., Mirkhalaf, M. Barthelat, F. Discrete-element modeling of nacre-like materials : Effects of random microstructures on strain localization and mechanical performance *J. Mech. Phys. Solids* 112, 385–402 (2018).
- [5] Abid, N., Pro, J. W. Barthelat, F. F Fracture mechanics of nacre-like materials using discrete-element models : Effects of microstructure, interfaces and randomness. *J. Mech. Phys. Solids* 124, 350–365 (2019)
- [6] Barthelat, F. Designing nacre-like materials for simultaneous stiffness, strength and toughness : Optimum materials, composition, microstructure and size. *J. Mech. Phys. Solids* 73, 22–37 (2014).
- [7] Wegst, U. G. K., et al. Bioinspired structural materials *Nat. Mater.*, 14, 23–36 (2014).
- [8] Dimas, L. S. Buehler, M. J. Tough and stiff composites with simple building blocks *J. Mater. Res.* 28, 1295–1303 (2013)
- [9] Bouville, F. et al. Strong, tough and stiff bioinspired ceramics from brittle constituents *Nat. Mater.* 13, 508–14 (2014)