

PROPOSITION DE STAGE 2018/2019

**A(FM)<sup>2</sup>BRAC**  
**ATOMIC FORCE MICROSCOPE COMPARISONS OF**  
**FOSSILIZED AND MODERN BRACHIOPODS**

The brachiopods, present since the Early Cambrian (more than 500 MA), are benthic marine invertebrates living attached to various kinds of substrates. These organisms possess a bivalved shell (ventral and dorsal). Within the subphylum, there are 3 series: (1) Rhynchonelliformea: This is the first series of the 3 subphyla, with a shell composed of low-magnesium calcite; (2) Craniiformea: The shells concerned are composed of higher amounts magnesium calcite; and (3) Linguliformea: These species possess a shell composed of apatite (calcium phosphate). Brachiopods still live in modern seas and oceans all over the world. Yet, the species diversity has decreased. Thus, brachiopods remain a true witness of (palaeo)environments.

When working on fossils shells, it is important to analyze living specimens in parallel to understand what is susceptible to modifications during fossilization. The Peak-Force Atomic Force Microscopy (PF-AFM) allows us to reach the nano-level of the hierarchical architecture of the shell complementing Scanning Electron Microscopy observations (SEM) (Gaspard & Nouet, JSB, 2016).

The intern will have the opportunity to work with SPEC-IMAFMP researchers and MNHN researchers on fossils and modern day brachiopods. [SPEC](#) is a joint CEA / CNRS unit ([UMR 3680 CEA-CNRS](#)).

SPEC researchers study condensed matter physics from the most basic physics to industrial applications. Advanced methods on the characterization of materials and their surfaces from the macroscopic scale to the nanoscale aid researchers on their endeavor. Approaches rely on in-house theoretical and experimental platforms. These platforms make it possible to study the long-term damage of the glasses, the corrosion of the archaeological materials, magnetic imaging archaeological materials.... The intern will work on the [IMAFMP](#) platform at SPEC. The internship will equally work with the le Centre de Recherche sur la Paléobiodiversité et les Paléoenvironnements (UMR 7207, CR2P), a co-laboratory between the Muséum national d'Histoire naturelle and the Sorbonne Université. The A(FM)<sup>2</sup>Brac inter will analyze brachiopods of the MNHN Invertebrate Palaeontological collections to understand their nano-mechanical structures.

This research will enable a better understanding of the taphonomy of these species and enabling us to bear witness to their (palaeo)environments. A(FM)<sup>2</sup>Brac seeks a well-rounded student M1 or M2 student interested in implementing modern day technologies to Palaeontological specimens, which will reveal the hierarchical architecture of the inner layers of the brachiopods. A successful candidate should have exposure to equipment such as AFMs, RAMANS, SEMs, STMs....

*Ce stage peut déboucher sur une thèse (financement DIM-Map)*

**CONTACTS:** Cindy L. Rountree ([web](#)), 01 69 08 26 55, [Cindy.Rountree@cea.fr](mailto:Cindy.Rountree@cea.fr)  
Daniele Gaspard, [daniele.gaspard@mnhn.fr](mailto:daniele.gaspard@mnhn.fr)  
Sylvain Charbonnier, [sylvain.charbonnier@mnhn.fr](mailto:sylvain.charbonnier@mnhn.fr)

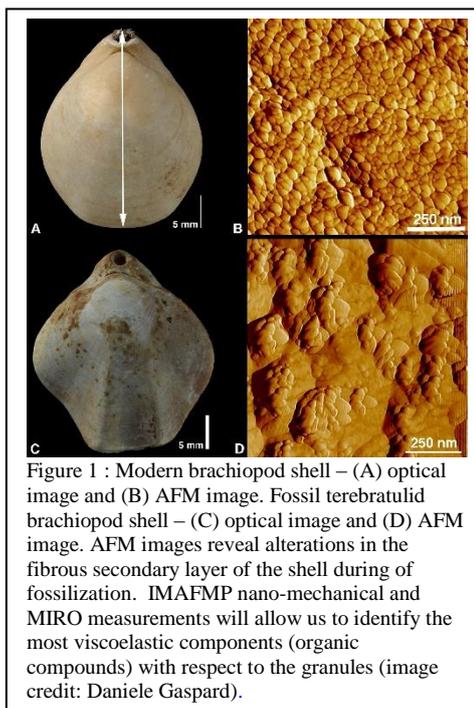
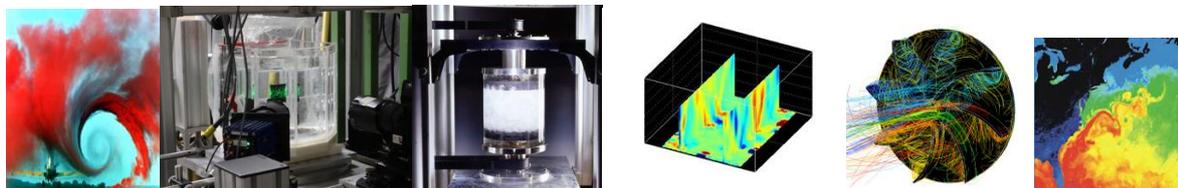


Figure 1 : Modern brachiopod shell – (A) optical image and (B) AFM image. Fossil terebratulid brachiopod shell – (C) optical image and (D) AFM image. AFM images reveal alterations in the fibrous secondary layer of the shell during of fossilization. IMAFMP nano-mechanical and MIRO measurements will allow us to identify the most viscoelastic components (organic compounds) with respect to the granules (image credit: Daniele Gaspard).

## PROPOSITION DE STAGE 2018/2019

### TRANSITIONS DANS DES SYSTEMES TURBULENTS HORS EQUILIBRE



Des transitions brutales sont observées de nombreux systèmes naturels : atmosphère, océan, climat, champ magnétique terrestre... Ces systèmes sont complexes : ils comportent de nombreuses échelles spatiales et temporelles en interaction et sont sujets à de très fortes fluctuations à toutes ces échelles. On peut y définir des structures moyennes telles les alizées, le Gulf-Stream ou les périodes glaciaires et interglaciaires. Ces structures peuvent apparaître, disparaître ou se transformer par des transitions qui mettent en jeu des brisures spontanées des symétries du système et peuvent être comparées à des transitions de phase ou des bifurcations. Ces phénomènes restent pourtant à l'heure actuelle mal compris alors qu'ils sont d'une importance capitale par exemple pour la dynamique du système climatique. Dans cette thèse, nous proposons d'étudier expérimentalement un système modèle turbulent/fluctuant, où l'on peut observer des transitions sur certaines observables moyennes ou globales.

Les transitions de phase dans les systèmes modèles proches de l'équilibre thermodynamiques sont parfaitement connues et la physique des instabilités et du chaos a permis de réaliser des avancées considérables au cours de ces 30 dernières années pour les systèmes à petit nombre de degrés de liberté. De même, l'influence du bruit sur une transition a été étudiée avec succès dans de nombreux systèmes. Ce n'est pas le cas pour les systèmes complexes situés loin de l'équilibre dans lesquels les fluctuations sont du même ordre que les grandeurs moyennes. En effet, si des expériences de laboratoire ont récemment mis en évidence des transitions dans des systèmes turbulents, un cadre conceptuel reste encore à développer.

Le but de ce stage est d'aborder cette problématique à l'aide d'expériences modèles. Une partie du travail reposera sur un écoulement cisailé dans un cylindre fermé forcé par deux turbines et très fortement turbulent. Dans ce type d'écoulement, on peut observer des structures moyennes de différentes symétries qui peuvent coexister pour certaines valeurs des paramètres de contrôle. On peut alors assister, via des dynamiques temporelles complexes et lentes, à des transitions entre ces modes. Au delà des études expérimentales, un des objectifs du stage sera également de comparer les dynamiques et les transitions observées à des résultats récents obtenus en mécanique statistique et dans des modèles non-linéaires ou stochastiques.

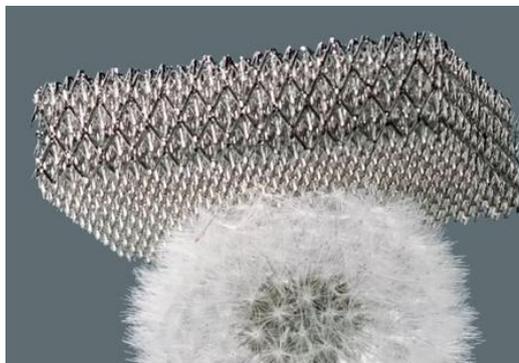
*Le cœur de ce stage est expérimental, mais des développements théoriques sur la physique hors-équilibre via le formalisme multi-fractal et les ondelettes pourront être effectués. Cette thèse sera co-encadrée par F. Daviaud (CEA) et B. Dubrulle (CNRS). Le sujet stage requiert une solide formation de physicien, en particulier en physique statistique, ainsi qu'un goût prononcé pour l'expérimentation. Il pourra éventuellement déboucher sur une thèse sur une thématique voisine.*

**CONTACTS :** François Daviaud, 01 69 08 72 40, [francois.daviaud@cea.fr](mailto:francois.daviaud@cea.fr)

## PROPOSITION DE STAGE/THESE 2019

### **METAMATERIAUX « OS » INSPIRES : VERS DES MATERIAUX LEGERS ET RESISTANTS**

La recherche de matériaux combinant légèreté et résistance mécanique est un domaine en plein essor, tiré, dans le domaine du transport notamment par la volonté de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et de développer des véhicules économes en carburant. Des progrès importants ont été accomplis récemment ; les méta-matériaux ou matériaux architecturés offrent dans ce contexte un potentiel considérable (e.g micro-lattice inventé au Caltech et produit par Boeing).



*Micro-lattice développé par Boeing*

Les voies explorées actuellement portent sur des architectures périodiques. L'idée proposée ici vise à obtenir une nouvelle classe de matériaux d'architecture aléatoires aux propriétés statistiques invariante d'échelle spécifiques, s'inspirant de la structure osseuse. Il s'agira aussi de regarder comment une telle structure poreuse se répercute en terme de « risques », i.e. de fluctuations statistiques autour du comportement moyen. L'objectif final est d'arriver à des outils de rationalisation rigoureux permettant de définir un/des optimums en termes de légèreté, résistance à la fissuration, et risques (au sens défini ci-dessus).

Nos recherches précédentes nous ont permis de développer certains formalismes, à l'interface entre mécanique des milieux continus et physique statistique, permettant de prendre en compte (dans des cas simples) les inhomogénéités de microstructure – ou sa nature discrete – et de prédire ses effets sur le comportement en rupture à l'échelle macroscopique. Il s'agira d'adapter ce formalisme à nos metamatériaux aléatoires. L'étude s'appuiera sur des approches numériques de type « Random Lattice model » de complexité croissante. Une attention particulière sera portée sur une caractérisation propre des fluctuations statistiques autour du comportement en rupture moyen. L'approche sera ensuite qualifiée au travers d'expériences menées sur des échantillons de porosité fractale obtenues par impression additive, puis cassées au moyen d'un dispositif expérimental original développé dans notre laboratoire et donnant accès à la résistance en rupture et ses fluctuations statistiques.

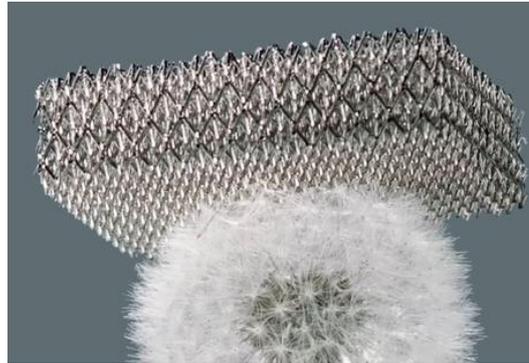
*Ce sujet de thèse met en jeu des notions appartenant à la fois à la physique statistique, l'ingénierie mécanique et la science des matériaux. Le candidat aura donc l'opportunité de manipuler les outils théoriques et expérimentaux utilisés dans ces trois domaines. Une collaboration avec le laboratoire FAST à Orsay est prévue. Enfin, le caractère à la fois très fondamental et appliqué de cette recherche permettra au candidat de trouver à l'issue de la thèse des débouchés dans le monde académique et dans l'industrie.*

**CONTACTS :** Daniel Bonamy ([web](#)), 01 69 08 21 14, [daniel.bonamy@cea.fr](mailto:daniel.bonamy@cea.fr)  
Thuy Nguyen, 01 34 25 10 18 [tn@eisti.eu](mailto:tn@eisti.eu)

PROPOSITION DE STAGE/THESE 2019

**BONES-INSPIRED METAMATERIALS: TOWARD ULTRALIGHT/ULTRA STRONG MATERIALS**

The quest toward high-performance materials combining lightness and mechanical strength gave rise to a flurry of activity: desire to reduce CO2 emissions and develop fuel-efficient vehicles in the transport industries for instance. In this context, meta-materials or architected materials offer considerable potential (e.g. micro-lattice invented at Caltech and produced by Boeing) and significant progresses have been achieved recently.



*Micro-lattice développé par Boeing*

The routes explored so far have mainly focused on periodic architectures. This project aims to explore random architectures, imitating that of bones, with specific scale invariant statistical properties (fractals). Particular attention will be paid to the consequences of such a random structure in terms of "risks", ie statistical fluctuations around the average failure behavior. The ultimate goal is to provide rigorous rationalization tools to define one or more optima in terms of lightness, crack resistance and risk (as defined above) in this new class of materials.

Our previous research has provided some formalisms, between continuum mechanics and statistical physics, which permits (in simple cases) to take into account explicitly material the spatial inhomogeneities at the microstructure scale and induced statistical aspects. We will seek to adapt this formalism to the case of fractal porosity. The study will rely on numerical approaches based on Random Lattice models of increasing complexity. Particular attention will be paid to a proper characterization of the statistical fluctuations around the average breaking behavior. The approach will then be confronted to experiments carried out on 2D printed samples of fractal porosity broken by means of an original experimental device developed in our laboratory and giving access to both fracture toughness and its statistical fluctuations.

*This Ph.D. thesis takes place astride Statistical Physics, Continuum Mechanics and Materials Science. The candidate will have the opportunity to use, - and to familiarize himself with -, both the theoretical and experimental techniques developed in these three fields. A collaboration with the FAST laboratory in Paris-Saclay University is being currently developed. This PhD topic, combining both fundamental aspects and potential industrial applications, will permit the candidate to find job openings either in the academic field or in industry..*

**CONTACTS :** Daniel Bonamy ([web](#)), 01 69 08 21 14, [daniel.bonamy@cea.fr](mailto:daniel.bonamy@cea.fr)  
Thuy Nguyen, 01 34 25 10 18 [tn@eisti.eu](mailto:tn@eisti.eu)