

**Vous voulez que votre travail ait un réel impact ?**

**Vous souhaitez mener une thèse en mécanique qui, à la fois,  
soit technologiquement novatrice,  
vous ouvre les portes de multiples secteurs d'activité  
et ait du sens sur le plan environnemental ?**

**Intégration de structures alvéolaires à densité variable,  
bio-inspirées des os, dans les pièces mécaniques structurelles.**

**Années universitaires : 2024-2027**

**Responsables :**

ISM : Julien CHAVES-JACOB ([julien.chaves-jacob@univ-amu.fr](mailto:julien.chaves-jacob@univ-amu.fr))

MODULATIO' : Romuald VIGIER ([r.vigier@modulatio.fr](mailto:r.vigier@modulatio.fr))

**Entreprise et laboratoire d'accueil :**

Laboratoire : Institut des Sciences du Mouvement (ISM) UMR7287, équipe Système Bio-Inspirée (SBI)

Entreprise : MODULATIO' SAS labélisée « Deep Tech », spécialisée sur les matériaux architecturés (structures alvéolaires et lattices).

**Localisation du stage :** 413 avenue Gaston Berger, 13625 Aix-en-Provence, IUT d'Aix-Marseille, Site d'Aix-en-Provence (plusieurs déplacements prévus, qui ne seront pas à la charge du candidat, sur Lyon et/ou Auxerre)

**Durée de la thèse :** 3 ans

Type de financement : Thèse CIFRE

**Rémunération :** Dans le cadre de cette thèse, l'entreprise MODULATIO' ajoutera des primes d'objectifs à la rémunération de base commune aux thèses Cifre.

**Niveau demandé :** BAC+5 (école d'ingénieur ou master 2)

**Compétences requises :** Conception mécanique, simulation numérique, mécanique du solide, conception assistée par ordinateur (CAO).

**Résumé :**

L'objectif de cette thèse est de poursuivre et de faire aboutir le développement des méthodes d'allègement bio-inspirées applicables à des pièces structurales.

Les cas d'application plus particulièrement utilisés seront des parties d'automobiles et/ou aéronautique.

Dans tous les domaines industriels la surconsommation de matières premières entraîne des conséquences en cascade : en effet, consommer plus de matière suppose qu'il a fallu en extraire, raffiner, transporter, transformer plus et, in fine, qu'il y aura plus de déchets à traiter.

En outre, quel que soit le produit concerné, **plus de matière signifie plus de masse**, ce qui génère un cercle vicieux : une masse supérieure nécessite une structure plus fortement dimensionnée... donc plus de matière !

De plus, qu'il s'agisse de fabriquer des véhicules, des bâtiments ou des machines, cet excès de masse implique forcément de plus fortes émissions de CO<sub>2</sub>.

Par exemple, les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur automobile comme du secteur aérien sont directement liées à la consommation d'énergie et donc à la masse des véhicules (principe fondamental de la dynamique).

Réduire la masse des engins (volants ou roulants) a donc un impact environnemental très significatif.

De même, alléger les composants structurels sans les affaiblir est une démarche essentielle à la sécurité (amélioration du comportement dynamique, réduction de l'énergie cinétique d'un choc...) de tous types de véhicules.

Enfin, les matériaux architecturés (notamment les structures alvéolaires et/ou lattices) étant capables d'assumer différentes fonctions mécaniques et/ou thermiques, ils permettent d'envisager des pièces multifonctionnelles réalisées en une seule opération avec un seul matériau ce qui présente des intérêts tant économiques (réduction des coûts) qu'écologiques (simplification du recyclage).

Par ailleurs, un changement majeur dans le process de fabrication des châssis automobiles est en cours : la constitution des caisses par assemblage de multiples pièces de tôle emboutie est désormais remise en cause par le procédé de fonderie dit de « **gigacasting** ».

En termes de faisabilité, ce procédé se prêt particulièrement bien à la mise en œuvre des structures alvéolaires.

En termes environnementaux, il nécessite une vigilance certaine dans la conception des ensembles de composants.

Des travaux de l'équipe SBI (Système Bio-Inspirée) ISM-UMR7287 ([1], [2], [3] et [4]) ont mis en place une méthode d'allègement de pièces mécaniques, bio-inspirées de la structure de l'os.

Appliquée au design de pièces mécaniques, cette bio-inspiration de la structure des os, a donné de bons résultats.

Les différentes étapes de la thèse seront les suivantes :

- **Etudes documentaires**
  - Etat de l'art des méthodes d'allègement de pièces mécaniques ;
  - Etat de l'art des matériaux architecturés bio-inspirés ;
- **Développement de la méthode**
  - Prise de connaissance des méthodes d'allègement bio-inspirées des os longs ;
  - Expérimentations ;

- Application aux cas d'étude
  - Définition d'une maquette échelle réduite du problème envisagé ;
  - Fabrication de ces maquettes en prototypage rapide ;
  - Essais de performances de ces maquettes.

## Présentation de l'environnement de travail :

- La SAS **MODULATIO'** est une « entreprise à mission ».

Celle-ci, inscrite dans ses statuts, est d'aider l'industrie à réduire sa consommation de matières premières.

Elle travaille en partenariat aussi bien avec des multinationales telles que MICHELIN, SIKA qu'avec des entreprises plus spécialisées telles que DANIELSON Engineering.

Sa technologie, issue du biomimétisme et brevetée, porte sur la production industrielle (par moulage) de matériaux architecturés (plus particulièrement de structures alvéolaires et lattices) dont la densité relative varie en fonction des contraintes mécaniques.

Ces structures, bio-inspirées, sont réalisables avec divers matériaux (alliages métalliques, bétons, élastomères, etc.) et s'appliquent dans divers secteurs industriels (aéronautique, bâtiment, automobile, etc.)

Outre la réduction de masse, ces structures présentent des caractéristiques (aptitude à dissiper l'énergie cinétique d'impacts et/ou de vibrations, ratio surfaces d'échange/volume occupé, etc.) dont il est possible de « moduler » les paramètres en faisant varier leur géométrie.

- *L'Institut des Sciences du Mouvement (ISM)* est une unité mixte de recherche pluridisciplinaire.

Les thèmes de recherche du laboratoire portent sur l'étude motricité des êtres vivants sous différents angles.

L'équipe Conception bio-inspirée (CBI) de l'ISM a pour objectif d'étudier les principes et les stratégies issus de systèmes biologiques pour s'en inspirer pour la conception des systèmes technologiques.

## Références :

- [1] C. Audibert, J. Chaves-Jacob, J.-M. Linares, and Q.-A. Lopez, "Bio-inspired method based on bone architecture to optimize the structure of mechanical workpieces," *Materials & Design*, vol. 160, pp. 708–717, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.matdes.2018.10.013.
- [2] M. Bilhère-Dieuzeide, J. Chaves-Jacob, E. Buhon, G. Biguet-Mermet, and J.-M. Linares, "Stress-driven method bio-inspired by long bone structure for mechanical part mass reduction by removing geometry at macro and cell-unit scales," *Materials & Design*, vol. 213, p. 110318, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.matdes.2021.110318.
- [3] N. Cadoret, J. Chaves-Jacob, J.-M. Linares, and A. Houssaye, "Form-function relationship between trabecular bone architecture and biomechanical function in the horse humerus," *Procedia CIRP*, vol. 110, pp. 299–304, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.procir.2022.06.054.
- [4] N. Cadoret, J. Chaves-Jacob and J.-M. Linares, " Structural additive manufacturing parts bio-inspired from trabecular bone form-function relationship", *Materials & Design*, Vol. 231, July 2023, 112029