



## Stage de Master M2

### Étude numérique de l'influence de la variabilité d'une microstructure fibreuse sur sa perméabilité

**Durée :** 6 mois (typiquement de mi-mars à mi-septembre 2019)

**Contacts :** Cécile Mattrand [cecile.mattrand@sigma-clermont.fr](mailto:cecile.mattrand@sigma-clermont.fr), Julien Bruchon [bruchon@emse.fr](mailto:bruchon@emse.fr)

#### Contexte :

Les matériaux composites considérés ici résultent de l'assemblage d'une résine et de fibres longues, naturelles ou synthétiques. Simuler l'élaboration de tels matériaux, nécessite donc de simuler l'écoulement d'une résine dans un milieu fibreux. Lorsque le domaine de calcul a une taille caractéristique de quelques fibres, les équations de Stokes permettent de décrire « finement » cet écoulement dans la microstructure considérée. Cependant, pour prendre en compte la pièce élaborée dans sa globalité, il est nécessaire de se placer à une échelle dite macroscopique. Le matériau est alors vu comme un matériau homogène équivalent, caractérisé par une fraction volumique de fibres et un tenseur de perméabilité. L'écoulement de la résine est alors donné par l'équation de Darcy. La perméabilité, qui rend compte de la capacité du milieu à se laisser traverser par un fluide, dépend de la microstructure. Elle peut être mesurée expérimentalement ou, comme dans ce stage, calculée numériquement en considérant des écoulements à l'échelle des fibres (Fig.1 1). Nous proposons ainsi d'étudier la dépendance de la perméabilité calculée à la forme des fibres mais aussi à leur distribution spatiale, autrement dit, la dépendance à la variabilité de la microstructure.

Ce stage est issu d'une collaboration entre L'École des Mines de Saint-Étienne (EMSE) et Sigma-Clermont. L'équipe Mécanique et Procédés d'Élaboration directe (MPE) de l'EMSE travaille, notamment en partenariat avec la société Hexcel, sur la simulation (par éléments finis) de l'élaboration de composites structuraux pour l'aéronautique à différentes échelles spatiales. Des chercheurs de Sigma-Clermont développent une activité de recherche en modélisation numérique de microstructures au laboratoire Institut Pascal (thème Matériaux Innovants (Mat Inn) de l'axe Mécanique, Génie Mécanique, Génie Civil, Génie Industriel (M3G)). Il s'agit de prendre en compte les paramètres morphologiques des phases en présence (par exemple taille et géométrie des fibres) ainsi que leurs variabilités. Les premières applications de ces travaux ont porté sur des matériaux composites à fibres naturelles (fibres de lin).

#### Contenu et déroulement du stage :

Ce stage fait suite à un premier travail de chaînage, via un script Python, entre les fichiers contenant une discrétisation des contours des fibres, la génération du maillage de la microstructure, l'exécution

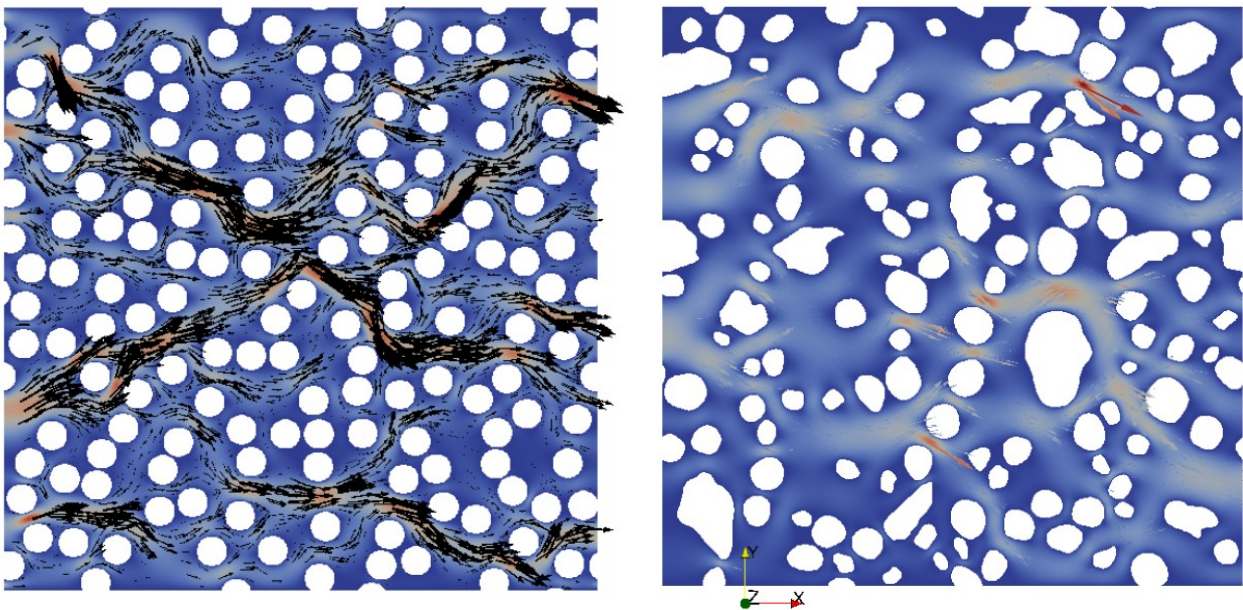
du code éléments finis avec la mise en données adéquate, le post-traitement du calcul de la perméabilité. L'étudiant devra donc d'abord prendre ce chaînage en main, et l'améliorer si nécessaire. Parallèlement, une revue bibliographique devra être faite sur le calcul numérique de perméabilité et les différentes lois, analytiques ou phénoménologiques, reliant perméabilité et descripteurs morphologiques. Il s'agira ensuite de se positionner par rapport à cette littérature (quels résultats retrouve-t-on?), puis de mener une étude sur l'effet de la distribution spatiale des fibres sur la perméabilité, en particulier dans le cas des fibres naturelles à contour irrégulier (Fig. 1).

**Profil du candidat** : niveau master 2. Spécialités mécanique, modélisation et simulation (éléments finis), mathématiques appliquées. Connaissances en C++ et/ou Python recommandées.

**Lieu du stage** : Sigma-Clermont, Clermont-Ferrand.

**Financement** : 500€ / mois.

**Comment candidater** ? Adresser une lettre de motivation ainsi qu'un CV aux contacts mentionnés ci-dessus.



**Figure1** – *Champ de vitesse dans deux microstructures à 30 % de fibres. Gauche : contours réguliers (fibres de carbone). Droite : contours irréguliers (fibres de lin).*