

Chaire Hexcel – Mines Saint-Etienne  
Modélisation numérique avancée pour l'élaboration par infusion de composites structuraux  
nouvelle génération

**Stage de Master / TFE de 6 mois à Mines Saint-Étienne – Université de Lyon**  
***Génération et analyse de distributions de perméabilités numériques par apprentissage machine à partir de simulations par éléments finis***

Mines Saint-Etienne (*Grande École* d'ingénieurs française regroupant 1 700 élèves-ingénieurs et chercheurs en formation) et la société Hexcel (leader mondial dans les composites pour l'aéronautique, CA 2014 1,8 Md\$) ont construit la Chaire Hexcel – Mines Saint-Etienne d'enseignement et de recherche dédiée à la "Modélisation numérique avancée pour l'élaboration par infusion de composites structuraux nouvelle génération". Cette Chaire inaugurée en 2015, parrainée par Safran et Airbus, est issue d'un partenariat de plus de 10 ans entre Mines Saint-Etienne et Hexcel. Doté d'un budget global de plus de 2,2 M€, ce projet industriel-académique vise à diffuser largement les connaissances autour de procédés d'élaboration spécifiques dits *LCM*, prometteurs, mais complexes à maîtriser pour des pièces de structure aéronautiques (voilures de plus 30 m de long par exemple).

S'appuyant sur des activités de modélisation et simulation originales et reconnues, notre équipe d'une dizaine de personnes (permanents Mines, permanents Hexcel, (post)-docs) porte cette Chaire, avec l'idée que seule la compréhension des mécanismes locaux régissant les affinités physico-chimiques des renforts de carbone (7 micromètres de diamètre) avec leur milieu environnant (résine polymérique) permettra de maîtriser, à l'échelle du procédé, la mise en œuvre industrielle de ces structures hautes performances – voir Figure 1. A l'issue des 2 premières thèses de ce programme, soutenues début 2019, la modélisation des écoulements résine/air aux échelles extrêmes - échelle des fibres (L. Chevalier, 11/03/2019) et échelle de la structure (K. Andriamananjara, 01/02/2019) - a abouti à des représentations robustes des écoulements incluant les tensions de surfaces sur des frontières mobiles. Une dernière thèse a débuté en octobre 2019 pour la mise en place des transitions d'échelle fibres-structure capables de rendre compte de ces écoulements en régimes saturés et transitoires dans des réseaux fibreux multi-échelles. Un travail de fond sur les concepts de changement d'échelle est en cours.

En parallèle de cette thèse, le travail de master / TFE proposé ici vise dans un premier temps à mettre en œuvre ces changements d'échelle avec des méthodes partiellement existantes et déjà validées en grande partie – encadré Figure 1. Un **chaînage numérique** en **Python** a été mis en place, allant de la **génération de micro-structures à statistiques contrôlées**, vers le **maillage** (Gmsh), puis le **calcul** par éléments finis des écoulements (suite Zset dans laquelle notre équipe intègre ses solutions de modélisation multi-échelle fluide/solide/poreux depuis de nombreuses années). Après une phase de **validation** de ce chaînage, ces résultats devront être **traités** pour en déduire les grandeurs caractéristiques des écoulements dans ces micro-structures, par l'exploitation des résultats de **simulations**. Cette exploitation sera réalisée par **prises de moyennes** pour en tirer les **perméabilités** et la **contrainte capillaire** par exemple, ou bien par **apprentissage statistique** (*machine learning*) afin de fournir une surface de réponse dans un espace dont la **métrique** optimale doit être définie (combinaisons de paramètres indépendantes). Un travail de fond doit être mené pour cette partie d'**exploitation et d'analyse de données massives**.

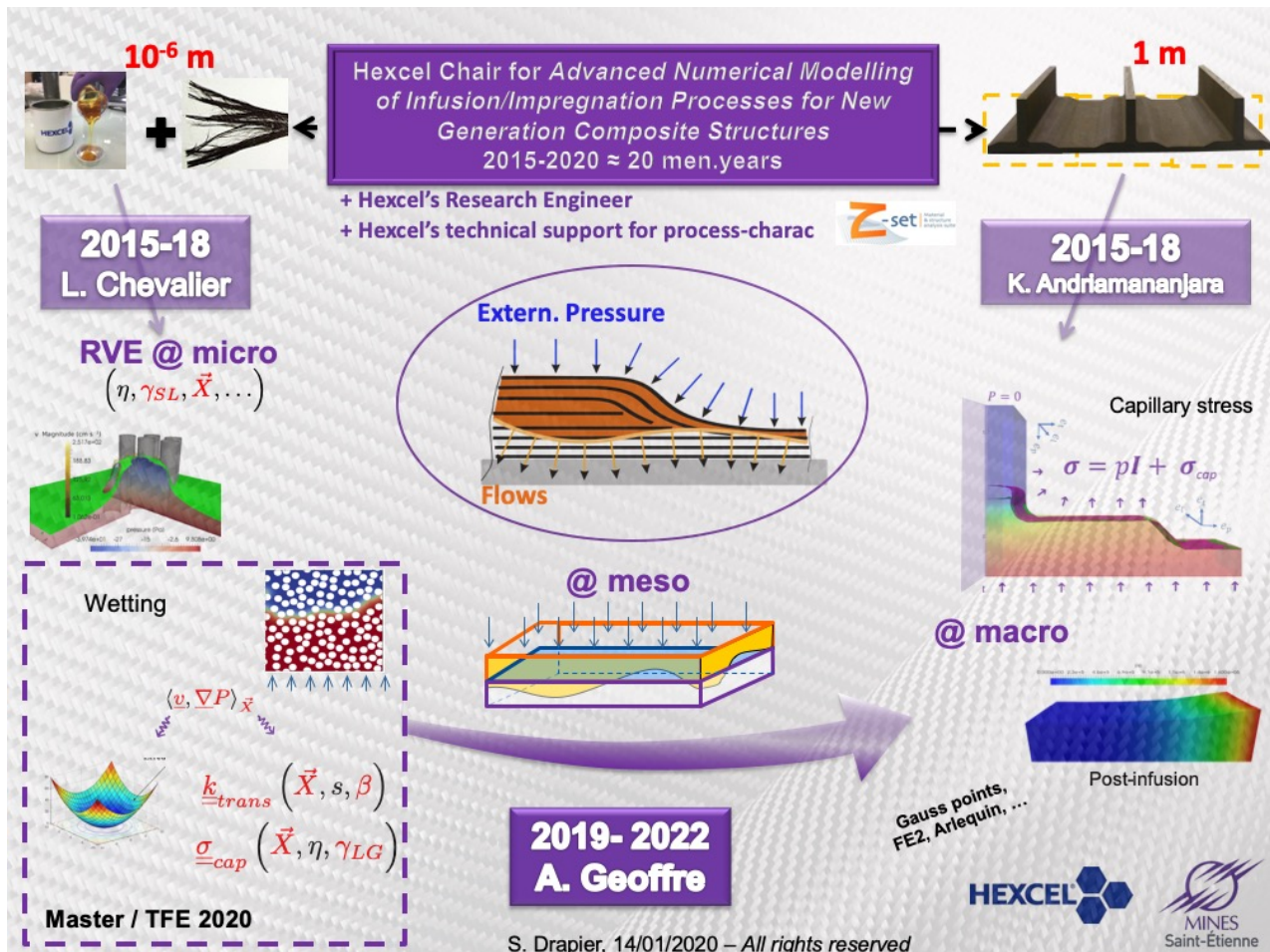


Figure 1 : Chaire Hexcel – Mines Saint-Etienne.

### Profil recherché

Élève ingénieur et/ou étudiant en master 2:

1. Compétences en mécanique numérique / physique numérique (solide, fluide, milieux poreux) ou domaine connexe (maths appli),
2. Connaissances en statistiques, et dans l'idéal en *machine learning*,
3. Maîtrise du Python,
4. Capacités à travailler en groupe
5. Initiative et autonomie.

### Candidatures / Contacts

Stage à débiter dès que possible, pour une durée de 6 mois environ (incluant une coupure estivale à décider en commun).

Les candidat(e)s intéressé(e)s devront faire parvenir un CV décrivant leur expérience en recherche et leurs centres d'intérêts, accompagné d'une lettre de motivation et de références académique, à :

**S. Drapier**, Professeur, titulaire de la Chaire Hexcel d'enseignement et de recherche [drapier@emse.fr](mailto:drapier@emse.fr)

Centre Sciences des Matériaux et des Structures & LGF UMR CNRS 5307 ; Mines Saint-Etienne