

## Catalogue des projets 3A et consignes pour *Énergie & Fluides*

Version du 13 février 2017

Les projets ont été présentés aux élèves le 26 septembre. Une réunion de choix a eu lieu le 28 septembre, les élèves ayant choisi chaque projet sont indiqués ci-après (l'ordre de présentation des sujets importe peu). Les créneaux de projets sont typiquement les mardi matin, mercredi après-midi et jeudi matin. Des soutenances « à mi-parcours » ont eu lieu les 15 et 16 décembre 2016. Depuis le 6 janvier 2017, les vendredi après-midi sont aussi disponibles, cf. [l'emploi du temps en section 2 de la page web 3A du département](#).

Le **rapport final** devra être envoyé par mel au format PDF, sous la forme d'un hyperdocument navigable, aux tuteurs et au responsable de département au plus tard le vendredi 10 février à 9h pour les élèves soutenant le 13 février, le mardi 14 février à 11h pour les élèves soutenant après. Dans le même délai, un exemplaire imprimé de ce rapport devra être déposé dans le casier du responsable de département. Ce rapport consistera en une **présentation de type scientifique** de l'objet du projet et du travail réalisé, respectant le cahier des charges suivant :

- longueur 20 à 40 pages hors annexes, 30 à 80 pages avec annexes pour un monôme ;  
25 à 45 pages hors annexes, 40 à 90 pages avec annexes pour un binôme ;
- au moins une annexe ;
- inclusion d'un résumé d'une demie page à une page ;
- inclusion d'une bibliographie référencée dans le corps du texte, étoffée par rapport à celle de ce catalogue, et présentée dans les règles <sup>1</sup>.

Il faut viser, en concertation entre élèves et tuteurs, un rapport et/ou les plans vidéos des soutenances et/ou l'oral des soutenances *en anglais* ; au moins l'une de ces trois possibilités devra se réaliser.

Les **soutenances finales** auront lieu en salle P320 de l'école suivant ce programme :

1<sup>ère</sup> session exceptionnelle lundi 13 février de 13h30 à 14h30 :

Heure	Élèves	Sujet	Tuteurs
13h30	Chergou & Godefroy	<b>1</b> Propriétés thermiques orthotropes d'un support de circuit imprimé	Jannot & Schick

2<sup>ème</sup> session mercredi 15 février à 14h :

Heure	Élève	Sujet	Tuteurs
14h	Crouvizier	<b>6</b> Optimisation géométrique d'échangeurs de matière membranaires	Favre & Hreiz

3<sup>ème</sup> session jeudi 16 février à 13h30 :

Heure	Élèves	Sujet	Tuteurs présents
13h30	Lopez	<b>2</b> Valorisation de chaleur fatale par effet magnéto-calorique	Feidt
14h15	Audhasse & Michel	<b>3</b> Étude de la cinétique d'ablation d'une surface par un jet	Gradeck
15h15	Aadil	<b>4</b> Étude d'écoulements de Couette d'une suspension de fibres	Ferrari & Jenny
16h15	Bouville	<b>5</b> Étude d'écoulements diphasiques liquide-solide dans un bioréacteur	Loubière & Olmos

4<sup>ème</sup> session vendredi 17 février à 8h30 :

Heure	Élève	Sujet	Tuteur
8h30	de Souza	<b>7</b> Diffusion de l'eau dans les membranes de PAC	Perrin

Ces soutenances seront basées sur des présentations vidéo de 25 minutes environ pour un monôme, 40 minutes environ pour un binôme. Chaque présentation visera à exposer **de façon scientifique** le sujet et le contexte du projet, ainsi que le travail réalisé. Il est demandé à tous les élèves d'assister à toutes les soutenances <sup>2</sup>. **Vendredi 17** vous serez libérés **vers 10h**, en effet nous ferons après la dernière soutenance un **bilan global** du S9.

1. Cf. la section 1.3 de la page 2A du département <http://energie.mines-nancy.univ-lorraine.fr/2A>.

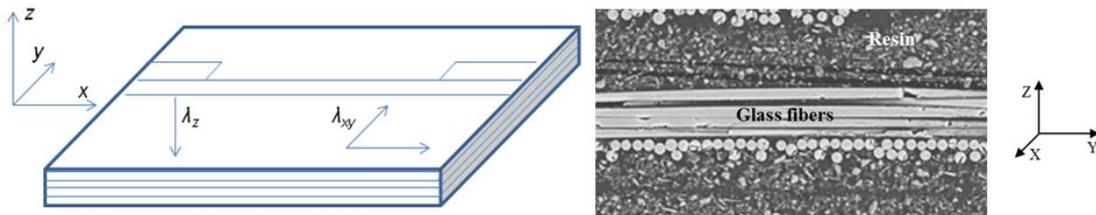
2. En dehors de Y. Chergou qui devra quitter Nancy dès le 13 février pour raison exceptionnelle. J. Lopez lui ne pourra pas assister aux soutenances du 15 février à cause de nouveaux cours de semestre 8.

# 1 Caractérisation des propriétés thermiques orthotropes d'un support de circuit imprimé

**Tuteurs :** Vincent Schick, MC UL      Yves Jannot, IR CNRS  
03 83 59 57 11      03 83 59 56 27  
[vincent.schick@univ-lorraine.fr](mailto:vincent.schick@univ-lorraine.fr)    [yves.jannot@univ-lorraine.fr](mailto:yves.jannot@univ-lorraine.fr)  
LEMTA site ENSEM, Vandœuvre-lès-Nancy

## Descriptif du sujet :

La société **Cimulec**, basée à Ennery (57), est spécialisée dans la fabrication de *supports de circuit électronique*. Ces dispositifs sont des empilements de résine isolante, au sens thermique et électrique, et de lame de cuivre conductrice sur lesquels viennent se fixer, après gravure de pistes, des composants électroniques. La forte puissance électrique des composants placés sur ces circuits s'accompagne de *dégagements important de chaleur*. Afin de *limiter l'endommagement thermique* des circuits, la société Cimulec a besoin de connaître les *propriétés thermiques*, capacité calorifique et conductivité thermique, de ses circuits, à des fins de simulation et de prototypage. Traditionnellement, ces mesures sont réalisées par des méthodes classiques de type « Flash » et calorimétrie. Ces méthodes (voir figure) ne sont cependant adaptées qu'à la mesure de la composante  $\lambda_z$  de la conductivité thermique.



L'objectif du projet est de compléter des travaux existants (Lechleiter & Jannot 2016), qui utilisent notamment la méthode Flash pour la mesure de  $\lambda_z$  et une méthode optique transitoire pour celle de  $\lambda_{xy}$ . En effet, ces méthodes sont exigeantes en termes de moyens expérimentaux : utilisation d'un détecteur optique pour  $\lambda_z$  et d'une caméra infrarouge pour  $\lambda_{xy}$ . Le but de cette étude est de réaliser la *mesure de la température à différents endroits* à l'aide de plusieurs fils thermomètres imprimés sur chaque face d'un échantillon, par *mesure de température par résistance métallique*, puis, à l'aide d'un *modèle thermique* adapté, de venir identifier simultanément toutes les conductivités thermiques. Cette étude peut se décomposer ainsi :

- **Modélisation analytique** 2D des transferts thermiques en régimes transitoire et périodique établi dans l'échantillon en cours de mesure.
- Validation du modèle analytique par *comparaison avec une solution numérique* (COMSOL).
- Choix d'une méthode (température - température, flux - température, méthode modulée...) et mise en place d'un *dispositif expérimental* adapté. Estimation simultanée de  $\lambda_z$  et  $\lambda_{xy}$ .
- **Validation** de la modélisation, du dispositif de mesure et des résultats en comparant avec Lechleiter & Jannot 2016.

## Référence :

LECHLEITER, F. & JANNOT, Y. 2016 Development of a Consistent and Reliable Thermal Conductivity Measurement Method. *IPC APEX EXPO (Las Vegas)*.

**Élèves ayant choisi ce sujet :** Yasmina Chergou & Justine Godefroy.

## 2 Valorisation de chaleur fatale par effet magnéto-calorique

**Tuteurs :** Michel Feidt, PR émérite UL Monica Costea, PR Université Polytechnique de Bucarest  
PR invitée UL

03 83 59 57 34

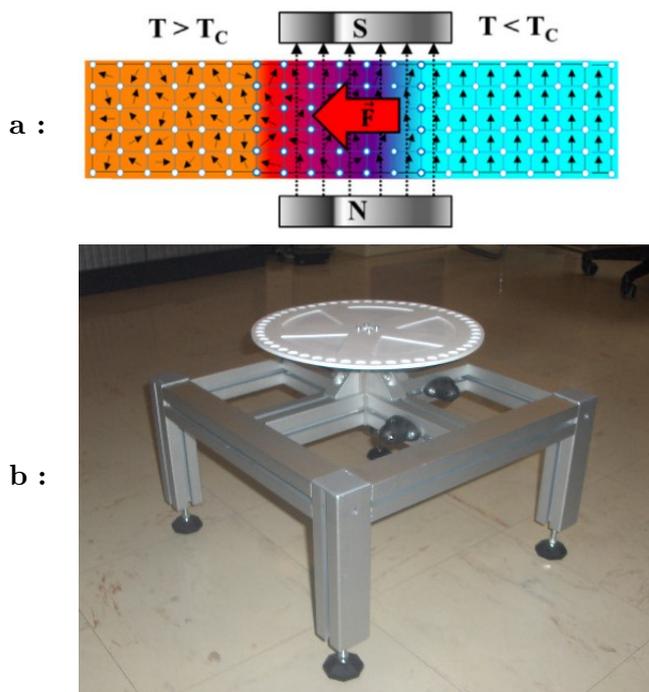
[michel.feidt@univ-lorraine.fr](mailto:michel.feidt@univ-lorraine.fr)

[liana5802@yahoo.fr](mailto:liana5802@yahoo.fr)

LEMETA site ENSEM, Vandœuvre-lès-Nancy

### Descriptif du sujet :

Le LEMETA, conjointement à l'Institut Jean Lamour, s'intéresse à un mode de *valorisation des chaleurs fatales* original par *effet magnéto-calorique*. Cet effet se produit dans des matériaux magnétiques soumis à des champs de température variables, autour de la température de Curie. Des couples magnétiques apparaissent, qui peuvent mettre en mouvement le système (fig. a, tirée de Alves et al. 2013). On parle parfois de « *roue de Curie* ». Un démonstrateur est en cours de réalisation entre le LEMETA et l'IJL, la photo fig. b montre la partie mécanique de celui-ci.



Jusqu'à ce jour le principal usage envisagé est plutôt dans une configuration de récepteur : machine à froid ou pompe à chaleur.

Le sujet proposé considère, lui, au contraire, un *système moteur* permettant la *conversion de chaleur en énergie mécanique puis électrique*. Les objectifs du projet sont :

1. dresser un *état de l'art* de la question, sur la base d'une étude bibliographique ;
2. développer une *modélisation thermodynamique* en vue d'une étude paramétrique du système de base ;
3. éventuellement, examiner les variantes potentielles du convertisseur.

### Références :

ALVES, C.S., COLMAN, F.C., FOLEISS, G.L., VIEIRA, G.T.F. & SZPAK, W. 2013 Numerical simulation and design of a thermomagnetic motor. *Applied Thermal Eng.* **61**, 616-622.

FEIDT, M. 2006 *Energétique : concepts et applications*. M. Dunod, Paris.

**Élève ayant choisi ce sujet :** Javier Lopez.

### 3 Étude de la cinétique d'ablation d'une surface par un jet liquide

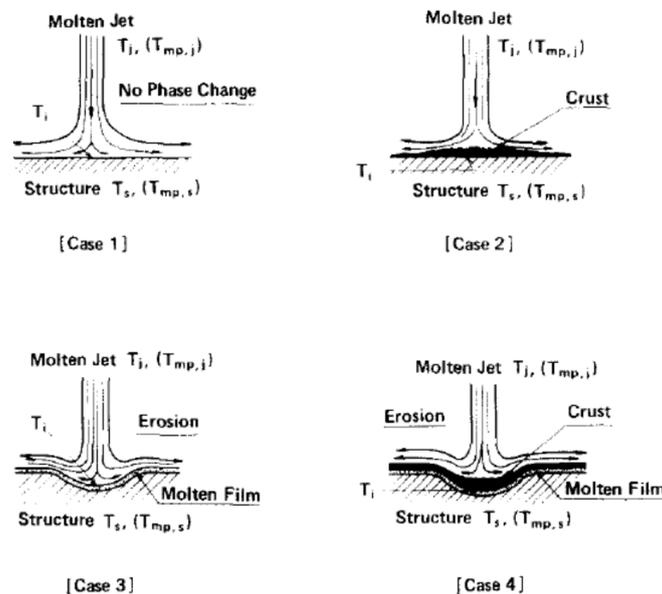
Tuteurs : Nicolas Rimbert, MC UL Michel Gradeck, PR UL  
03 83 59 57 36

[nicolas.rimbert@univ-lorraine.fr](mailto:nicolas.rimbert@univ-lorraine.fr) [michel.gradeck@univ-lorraine.fr](mailto:michel.gradeck@univ-lorraine.fr)

LEMETA site ENSEM, Vandœuvre-lès-Nancy

#### Descriptif du sujet :

Lorsqu'un *jet de liquide impacte une paroi*, le *transfert thermique* qui en résulte dépend de la différence de température entre les deux milieux mais aussi de l'*hydrodynamique de l'impact*. Ceci a été largement étudié par le passé. Une situation plus complexe peut se rencontrer dans le cas où la *température du jet est supérieure à la température de fusion de la paroi* : ceci provoque localement un *changement de phase de la paroi* et conduit à son *ablation*. La cinétique d'ablation évolue avec l'hydrodynamique de l'impact, laquelle dépend des conditions limites du problème et de la géométrie. Le comportement d'ablation est donc piloté par un *couplage complexe entre l'hydrodynamique et les transferts thermiques avec changement de phase*. Différentes situations rencontrées au cours de l'ablation par un jet sont présentées sur la figure ci-dessous, tirée de Saito et al. (1990) :



Ces situations peuvent être rencontrées lors d'un accident grave dans une centrale nucléaire avec fusion du cœur : par exemple, au cours de sa progression, le corium peut former un jet extrêmement chaud pouvant interagir avec des surfaces plus froides telles que de l'acier ou une céramique. Ce travail est d'ailleurs mené en lien avec le Laboratoire de Physique et de Modélisation des Accidents Graves du CEA Cadarache.

Dans la continuité du stage de C. Zacharie, on propose une *étude expérimentale* de ce système. Les expériences se feront avec un jet d'eau impactant une paroi de glace. Différents moyens de mesure (ombroscopie par caméra rapide, ...) devront être mis en œuvre pour quantifier les flux pariétaux et donc le coefficient d'échange en lien avec le champ des vitesses. L'objectif à court terme est de classer les différents *régimes d'impact* ainsi que leur évolution au cours du temps en lien avec la vitesse d'ablation et l'évolution de la forme de la cavité. Il pourra être intéressant de mener, parallèlement aux expériences, des analyses physiques avec un minimum de modélisation. Ce travail pourrait se poursuivre en stage de fin d'étude, voire, en thèse de doctorat.

#### Références :

SAITO M., SATO, K., FURUTANI, A., ISOZAKI, M., IMAHORI, S. & HATTORI, Y. 1990 Melting attack of solid plates by a high temperature liquid jet - effect of crust formation. *Nuclear Eng. Design* **121**, 11 - 23.

ZACHARIE, C. 2016 *Étude de la fusion d'un solide par un jet chaud*. Rapport de stage de fin d'études Mines Nancy.

Élèves ayant choisi ce sujet : Séléna Audhasse & Théo Michel.

## 4 Étude d'écoulements de Couette d'une suspension de fibres

Tuteurs : Mathieu Jenny, MC UL                      Maude Ferrari, IR UL  
03 83 59 57 12

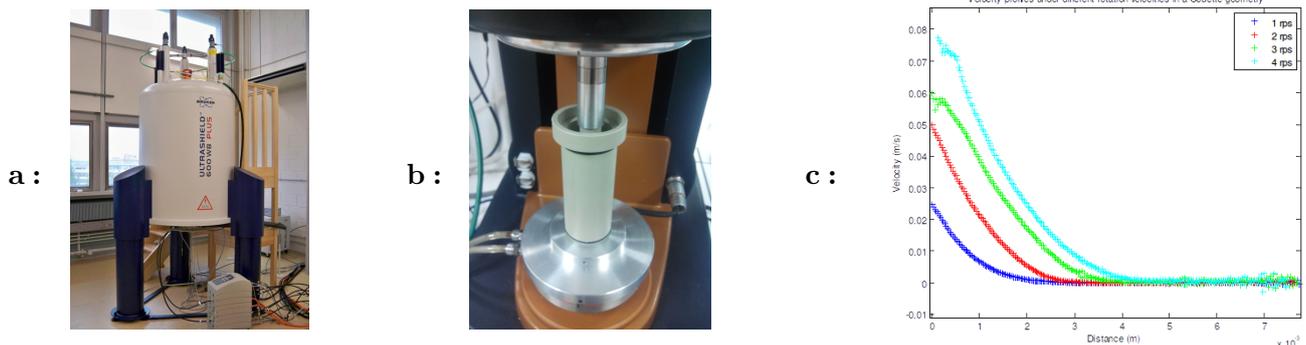
[mathieu.jenny@univ-lorraine.fr](mailto:mathieu.jenny@univ-lorraine.fr)   [maude.ferrari@univ-lorraine.fr](mailto:maude.ferrari@univ-lorraine.fr)

LEMTA site ENSEM, Vandœuvre-lès-Nancy

### Descriptif du sujet :

Les *suspensions de fibres* se rencontrent dans beaucoup de domaines : la confection de vêtements, de toile, en agroalimentaire, ... Le comportement mécanique de ce type de suspension est complexe car il dépend des interactions des fibres entre elles à petite échelle. L'étude expérimentale des écoulements de ces fluides opaques nécessite l'utilisation d'outils de métrologie non optique, ces derniers n'étant utilisables que pour les fluides translucides. Le LEMTA dispose de moyens expérimentaux avancés comme l'**IRM Imagerie par Résonance Magnétique** (fig. a ci-dessous : IRM 600 MHz) qui permet notamment d'obtenir le champ de vitesse dans un écoulement (fig. c). Des travaux théoriques et numériques sont aussi en cours au LEMTA pour étudier une classe de modèles permettant la description de ce type de fluides (Jenny et al. 2016). Tous ces travaux visent à mieux comprendre la physique de ces suspensions pour une modélisation efficace et utilisable dans la pratique.

Récemment, des *mesures expérimentales* ont été effectuées sur l'IRM 600 MHz dans un *système de Taylor-Couette* avec des *suspensions de fibres de polymère* à différentes concentrations massiques et différentes vitesses. Le traitement préliminaire des données montre que, pour les faibles vitesses de rotation du cylindre intérieur, seule une partie de la suspension s'écoule lorsque la concentration en fibres est suffisamment élevée (fig. c). Ainsi, la suspension se comporte comme un *fluide à seuil* : en dessous d'une contrainte, dite seuil, elle ne s'écoule pas. Cependant, contrairement à des fluides plus simples, aux concentrations élevées, le comportement de la solution dépend de son histoire et les profils obtenus pendant la phase d'augmentation de la vitesse de rotation du cylindre interne ne se superposent pas à ceux obtenus pendant la phase de réduction de la vitesse. On parle alors d'effets « *thixotropiques* ». Afin de tirer tout cela au clair, il est nécessaire d'effectuer un *traitement systématique des données expérimentales brutes*. Une *caractérisation rhéologique* pour différentes concentrations de fibres, avec un système de Taylor-Couette monté sur rhéomètre (fig. b), doit aussi être réalisée.



Le travail consiste donc à *traiter et analyser des données expérimentales* en utilisant le logiciel scientifique Matlab, et à effectuer quelques *mesures sur rhéomètre* pour caractériser la suspension étudiée. Une séance de mesures sur IRM pourra être envisagée en fonction de la disponibilité de l'instrument. Ce travail pourrait se poursuivre en stage de fin d'étude, voire, en thèse de doctorat.

### Référence :

JENNY M., KIESGEN DE RICHTER S., LOUVET N. & SKALI-LAMI S. 2016 Taylor-Couette instability in thixotropic yield stress fluids. Article soumis à *Phys. Rev. Fluids*.

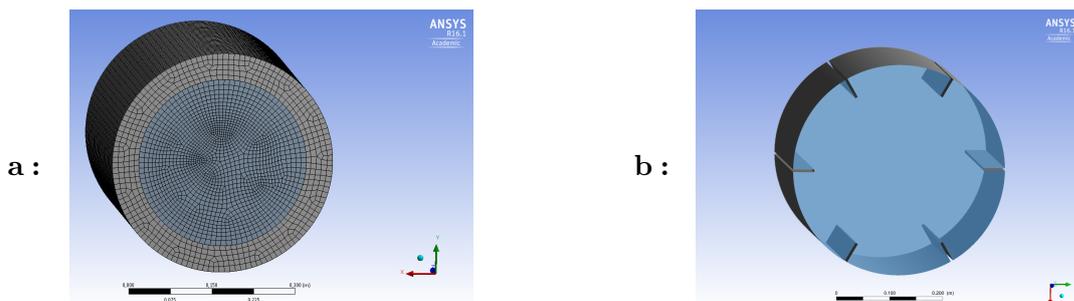
Élève ayant choisi ce sujet : Nouçayba Aadil.

## 5 Modélisation numérique d'écoulements diphasiques liquide-solide dans un bioréacteur de type cylindre tournant

**Tuteurs :**      Éric Olmos, PR UL              Céline Loubiere, doctorante  
                         03 83 59 57 54                              03 83 59 57 80  
                         [eric.olmos@univ-lorraine.fr](mailto:eric.olmos@univ-lorraine.fr)    [celine.loubiere@univ-lorraine.fr](mailto:celine.loubiere@univ-lorraine.fr)  
                         LRGP, site ENSAIA, Vandœuvre-lès-Nancy

### Descriptif du sujet :

On s'intéresse à la recherche de nouveaux designs et conditions opératoires pour la *culture de cellules animales en réacteur agité*, ce, en lien avec le projet ANR STEMCREATOR. Plus particulièrement, on étudie des *cultures de cellules sur des microparticules solides*, de diamètre environ 200  $\mu\text{m}$ , et de masse volumique environ 1030  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Ces microparticules forment une *suspension dans la phase liquide assurant leur nutrition* ; la fraction volumique de solide est de l'ordre de 5%. Parmi les géométries envisagées, le *cylindre tournant* autour de son axe (analogue à une « machine à laver ») semble offrir une praticité de mise en œuvre et d'utilisation qui permettraient sa mise rapide sur le marché. L'optimisation du design du bioréacteur passe initialement par une étude des *écoulements diphasiques liquide-solide* générés au sein du système. Cette étude a déjà été commencée au LRGP, avec l'aide de *modèles numériques*, cf. par exemple Collignon et al. 2016, ou les figures ci-dessous, qui présentent (a) un maillage de cylindre tournant (b) un cylindre muni de chicanes.



Les étapes de ce projet devraient être les suivantes :

1. *Étude bibliographique.*
2. Étude des *modèles décrivant les écoulements granulaires liquide-solide* : Euler-Euler granulaire, lois d'interaction liquide-solide.
3. Prise en main du *logiciel CFD* ANSYS 16 : Design Modeler, Meshing, Fluent. Une formation et un appui technique seront assurés par les encadrants du projet.
4. *Simulations numériques Euler-Euler des écoulements* en géométrie simple de type cylindre lisse ou pour des géométries modifiées de type cylindre muni de chicanes (cf. figures). L'impact de la fréquence d'agitation, de la masse volumique et de la conception du bioréacteur sur la dispersion des particules sera déterminé.
5. Selon l'avancement des travaux, il pourra être envisagé de confronter les résultats précédents avec des simulations Euler-Lagrange.

### Référence :

COLLIGNON, M. L., DELAFOSSE, A., CALVO, S., MARTIN, C., MARC, A., TOYE, D. & OLMOS, E. 2016 Large-Eddy Simulations of microcarrier exposure to potentially damaging eddies inside mini-bioreactors. *Biochem. Eng.* **108**, 30-43.

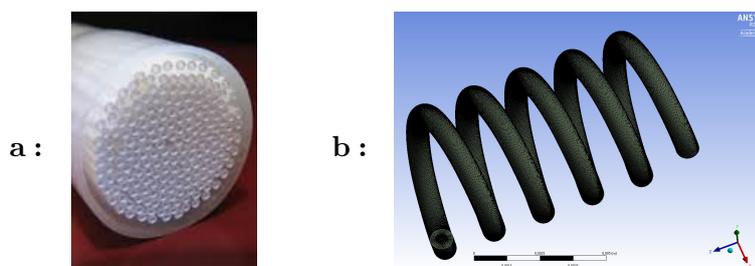
**Élève ayant choisi ce sujet :** Olivier Bouville.

## 6 Optimisation géométrique d'échangeurs de matière membranaires

**Tuteurs :** Rainier Hreiz, MC UL                      Éric Favre, PR UL  
03 83 17 53 70    03 83 17 53 90  
[rainier.hreiz@univ-lorraine.fr](mailto:rainier.hreiz@univ-lorraine.fr)    [eric.favre@univ-lorraine.fr](mailto:eric.favre@univ-lorraine.fr)  
LRGP, site ENSIC, 1 rue Grandville, Nancy

### Descriptif du sujet :

Étant donné leur faible coût énergétique, les *techniques de séparation membranaire* sont largement utilisées pour la séparation de mélanges liquides ou gazeux : traitement du gaz naturel, séparation O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, purification de biogaz, électrodialyse, dessalement de l'eau de mer, etc... Ces techniques font appel à des membranes en forme de tubes creux dans lesquelles on crée un *écoulement du mélange à séparer* (fig. a : module constitué de nombreuses membranes cylindriques). Certains composés peuvent diffuser à travers la membrane, par ex. l'eau, et d'autres non, par ex. le sel dissous, ce qui conduit à la séparation des phases. Pour des raisons de facilité de fabrication, les membranes sont généralement de géométrie cylindrique. Même si de nombreux travaux ont proposé des géométries différentes (fig. b : membrane hélicoïdale) permettant de meilleures performances (Kaufhold et al. 2012), par ex., une meilleure efficacité énergétique, ces solutions sont restées bloquées en raison des limitations des technologies d'élaboration conventionnelles de modules. Cependant, aujourd'hui, avec l'évolution des technologies de fabrication additive et d'impression 3D, il devient possible de fabriquer des membranes de forme plus évoluée.



Ce projet vise à *déterminer les géométries permettant d'optimiser les performances des membranes*, par ex. en maximisant le coefficient de transfert de matière. On s'intéressera notamment aux *tubes courbés* (et/ou de section non-circulaire). En effet, dans un tube circulaire droit, la vitesse moyenne est suivant l'axe de la conduite, alors que dans un tube courbé, sous certaines conditions, on observe la *formation de tourbillons* induisant des composantes de vitesses perpendiculaires à l'écoulement principal. Ces tourbillons, appelés *écoulements secondaires*, conduisent généralement à une *intensification du transfert de matière* (ou de chaleur). On propose un travail en trois parties :

1. Une *étude bibliographique* permettra d'identifier les conditions (nombre de Reynolds minimal...) d'apparition des écoulements secondaires.
2. En se plaçant dans des conditions opératoires pré-déterminées par cette étude, l'écoulement dans des membranes de différentes formes sera simulé à l'aide du *logiciel CFD* ANSYS Fluent. Une fois l'hydrodynamique résolue, l'efficacité de transfert de matière pourra être déterminée.
3. Pour quelques géométries, un *algorithme d'optimisation* permettra de déterminer leur configuration optimale, c.à.d. les paramètres géométriques (rayon de courbure de la membrane, ...) qui optimisent ses performances (meilleur coefficient de transfert pour une perte de charge donnée, ...).

### Référence :

KAUFHOLD D., KOPF F., WOLFF C., BEUTEL S., HILTERHAUS L., HOFFMANN M., SCHEPER T., SCHLÜTER M. & LIESE A. 2012 Generation of Dean vortices and enhancement of oxygen transfer rates in membrane contactors for different hollow fiber geometries. *J. Membrane Sci.* **423**, 342-347.

**Élève ayant choisi ce sujet :** Geoffrey Crouvizier.

## 7 Modélisation numérique de la diffusion de l'eau instationnaire dans les membranes de Piles à combustible

### Tuteur :

Jean-Christophe Perrin, MC Université de Lorraine

Lemta site ENSEM, à Vandœuvre-lès-Nancy

Tél. : 03 83 59 55 86

[jean-christophe.perrin@univ-lorraine.fr](mailto:jean-christophe.perrin@univ-lorraine.fr)

WEB : [http://lemta.univ-lorraine.fr/data/pages\\_pro/J.C.Perrin.pdf](http://lemta.univ-lorraine.fr/data/pages_pro/J.C.Perrin.pdf)

### Descriptif du sujet :

Le *vecteur hydrogène* est un *vecteur énergétique* intéressant par plusieurs aspects. Dans le cadre de la *transition énergétique*, il sera probablement amené à se développer. Un système de production d'énergie électrique à partir d'hydrogène, assez performant, est constitué par les *piles à combustible* (PAC). Ce projet se place dans l'effort de recherche du groupe *Énergie* du Lemta sur l'amélioration des PAC, en se focalisant sur les *membranes polymères*. Ces membranes sont des milieux poreux hydratés, notamment, pour permettre le transport des protons. On propose d'*étudier numériquement la diffusion de l'eau dans de telles membranes ou assemblages de membranes*. On se focalisera sur des membranes de type PFSA destinées aux piles à combustible basse température. Le travail comprendra

- l'écriture d'un *modèle de diffusion instationnaire dans le/les matériaux*, et la *résolution numérique* de celui-ci ;
- la *simulation de données expérimentales* acquises récemment par *imagerie IRM résolue en temps*.

Élève ayant choisi ce sujet : David de Souza.