

Titre en français : Caractérisation du colmatage de membrane : de l'impression 3D à la visualisation 3D

Titre en anglais : Membrane fouling characterization: from 3D printing to 3D visualization

Nom du directeur de thèse : Philippe MOULIN

Tel : 0667141418

E-Mail : philippe.moulin@univ-amu.fr

Laboratoire : M2P2

Codirection : Pierre BOIVIN (M2P2) Jérôme VICENTE (IUSTI)

Financement : acquis ou demandé

Type de financement : 8000 euros – Projet interne M2P2 (Acquis) ; 25000 euros – Projet IMI (demandé), membranes (ALsys – Acquis)

Résumé en français :

Ce sujet de thèse sera réalisé au sein du M2P2 (80%) et de l'IUSTI (20%). Le doctorant recruté utilisera les plateformes d'impression 3D et de calcul (CFD) du M2P2, le micro-tomographe de l'IMI et une collaboration avec la plateforme CERIMED et des essais au GETBO de Brest seront mise en place. L'inconvénient principal des procédés membranaires est le colmatage mais personne n'a jamais pu l'observer du fait des petites échelles mises en jeu (de l'ordre de 1 nm -1 μm). De nombreuses études ont permis de caractériser les pores, les canaux et même le colmatage. Il s'agit soit d'analyses en 2D [Tamine et al. (2011a-b, 2014), Wyart et al. (2011a-b)], en 3D [Remigy et al., 2006, Baruchel, 2010] ou des visualisations de colmatage déjà formé que ce soit en surface ou en profondeur [Lehir et al., 2018]. Des mesures de champs de pressions couplées à de la simulation numérique [Cano et al., 2013] ont permis également d'évaluer le colmatage sur les écoulements mais là aussi, il s'agit de comparaison avant et après colmatage sans que l'on puisse suivre et/ou observer celui-ci au cours du temps. Après avoir déjà réalisé une nanotomographie d'une membrane [Vicente et al., 2012, 2013], l'idée est d'en imprimer une version 3D mise à l'échelle par homothétie, pour mieux comprendre la membrane par similitude. On s'assurera que l'impression soit transparente (pour visualiser l'écoulement) ou pas (IRM-4D et/ou échographie), et étanche (pour simplifier la modélisation numérique en parallèle). Une fois réalisée celle-ci sera incorporée dans un carter permettant les écoulements de fluide en amont, dans et en aval de la structure. Ce module ainsi formé devra permettre sa caractérisation au microtomographe, des essais de filtration d'eau et de suspensions de grandes tailles, de réaliser la simulation numérique des écoulements et le passage en IRM/échographie. A partir de cette membrane homothétique, le travail de thèse sera divisé en 4 parties complémentaires et qui vont inter agir entre elles : (i) A partir de ces données, l'Equipe Procédés Membranaires réalisera les expériences avec ce fluide chargé en grosses particules devant simuler les matières en suspension présentes dans les eaux pour la potabilisation des eaux par exemple. La croissance du colmatage mais aussi le décolmatage seront observés par des caméras permettant de visualiser ces phénomènes pour la première fois. (ii) Il s'agira en parallèle de faire la microtomographie de la structure imprimée en 3D afin de fournir pour la CFD les principales dimensions. Elles seront comparées aux données de la nanotomographie de la membrane. Cette étape est très importante car elle doit permettre d'identifier le nombre de canaux bouchés, c'est à dire des problèmes liés à l'impression de canaux qui sont à 99% interconnectés et débouchants. (iii) Il sera réalisé une étude hydrodynamique pour définir les écoulements dans les deux structures (nanotomographiée réelle et l'homothétie) en fonction des dimensions de chacune et définir les conditions de filtration dans l'homothétie. Définir les paramètres dimensionnants de similitude, en particulier les propriétés du fluide (viscosité, masse volumique, etc...) nécessaire à utiliser pour reproduire une filtration identique à la membrane réelle. (iv) enfin, l'IRM 4D sera utilisée de manière à pouvoir réaliser une filtration sous un champ magnétique afin de visualiser l'écoulement non plus en surface mais dans la structure poreuse. La membrane sera soumise à un champ magnétique plus puissant que ceux utilisés habituellement en application médicale pour améliorer la résolution et un produit de contraste pourra être utilisé pour améliorer la visualisation tout en respectant les conditions hydrodynamiques fixées par l'équipe TONIC (Thermodynamique, Ondes Numériques, Interfaces, Combustion). Des contacts ont été pris également avec le laboratoire GETBO pour faire la même observation par des échographes nouvelles générations. L'utilisation de produits de contraste devrait accentuer la mise en évidence de ces écoulements. Ce projet pluridisciplinaire s'inscrit dans une approche de rupture, permettant par des approches couplées de répondre à un des verrous scientifiques importants en génie des procédés : le colmatage des membranes.

Résumé en anglais :

This thesis will be carried out within M2P2 (80%) and IUSTI (20%). The PhD student will use M2P2's 3D printing and calculation (CFD) platforms, IMI's micro-tomograph and will collaborate with the CERIMED platform and trials at GETBO in Brest. The main drawback of membrane processes is the fouling, but no one has ever been able to observe this due to the small scales involved (of the order of 1 nm -1 μ m). Numerous studies have been carried out to characterize pores, channels and even fouling. These are either 2D analyses [Tamine et al. (2011a-b, 2014), Wyart et al. (2011a-b)], 3D [Remigy et al., 2006, Baruchel, 2010] or visualizations of fouling already formed whether on the surface or at depth [Lehir et al., 2018]. Pressure field measurements coupled with numerical simulation [Cano et al., 2013] have also made it possible to assess fouling on flows, but here too, it's a matter of before-and-after comparisons without being able to track and/or observe it over time. Having already produced a nanotomograph of a membrane [Vicente et al., 2012, 2013], the innovative part of this subject is to print a 3D version scaled by homothety, to better understand the membrane by similarity. We'll make sure the print is transparent (to visualize the flow) or not (MRI-4D and/or ultrasound), and water-proof (to simplify parallel numerical modeling). Once completed, the module will be housed in a module to allow fluid flow upstream, in and downstream of the porous structure. The module thus formed should enable (i) characterization using a microtomograph, (ii) filtration tests with water and large suspensions, (iii) numerical simulation of flows, and (iv) MRI/ultrasound. Based on this homothetic membrane (M2P2), the Ph-D will be divided into 4 complementary and interacting parts: (i) Based on these data, the EPM (M2P2) will carry out experiments with this fluid loaded with large particles, designed to simulate the suspended solids present in water for drinking water purification, for example. (ii) In parallel, microtomography of the 3D-printed structure will be carried out (IUSTI) to provide the main dimensions for CFD. These will be compared with data from the nanotomography of the membrane. This is a very important step, as it will enable us to identify the number of blocked channels, i.e. the problems associated with printing channels that are 99% interconnected and open. (iii) A hydrodynamic study will be carried out (M2P2) to define the flows in the two structures (the real nanotomograph and the homothety) as a function of the dimensions of each, and to define the filtration conditions in the homothety. Define the dimensional parameters of similarity, in particular the fluid properties (viscosity, density, etc.) required to reproduce filtration identical to the real membrane. (iv) lastly, 4D MRI will be used to perform filtration under a magnetic field, in order to visualize flow not on the surface but within the porous structure. The membrane will be subjected to a magnetic field stronger than those normally used in medical applications to improve resolution, and a contrast agent may be used to enhance visualization while respecting the hydrodynamic conditions set CFD. Contacts have also been made with the GETBO laboratory to carry out the same observation using new-generation ultrasound scanners. The use of contrast agents should enhance the visibility of these flows.

This multi-disciplinary project takes a breakthrough approach, using coupled approaches to address one of the major scientific challenges in process engineering: membrane fouling.

Profil du candidat recherché :

Le candidat recherché sera titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'école d'ingénieurs, spécialisé en génie des procédés. Des compétences en procédés membranaires et/ou simulation numérique et/ou imagerie seront appréciées.

Publications sur le sujet :

- Baruchel, J., X-ray Tomography in Material Science, Hermès, Paris, France, 2000.
- Cano, G., P. Steinle, J.V. Daurelle, Y. Wyart, K. Glucina, D. Bourdiol and P. Moulin, pressure fields in an industrial UF module: effect of backwash, Desalination (2013) 1-7 DOI:10.1080/19443994.2013.795255
- LeHir, M., Y. Wyart, G. Georges, L. Siozade, P. Moulin, Nanoparticles retention potential of multichannel hollow fiber drinking water production membrane, Journal of Membrane Science and Research, 4 (2018) 74-84.
- Remigy, J.C., M. Meireles Assessment of pore geometry and 3-D architecture of filtration membranes by synchrotron radiation computed microtomography, Desalination 199 (2006) 501-503
- Tamime, R., Y. Wyart, L. Siozade, I. Baudin, C. Deumić, K. Glucina, P. Moulin, Morphological analysis of flat and hollow fiber membranes by optical and microscopic methods as a function of the fouling, Journal of Membrane Science 472 (2014) 241-250
- Tamime, R., Y. Wyart, L. Siozade, I. Baudin, C. Deumić, K. Glucina, P. Moulin, Membrane Characterization by Microscopic and Scattering Methods: Multiscale Structure. Membrane 1(2) (2011) 91-97.
- Tamime, R., Y. Wyart, L. Siozade, I. Baudin, C. Deumić, K. Glucina, P. Moulin, Membrane Characterization by Microscopic and Scattering Methods: Multiscale Structure. Membrane 1(2) (2011) 91-97.
- Vicente, J., Y. Wyart and P. Moulin, Characterization (2D-3D) of ceramic microfiltration membrane by synchrotron radiation: new and used membranes, Journal of porous medium 16 (2013) 537-545
- Vicente, J., Y. Wyart and P. Moulin, From 2D to 3D characterization of ceramic membranes, Procedia Engineering 44 (2012) 517 - 520
- Wyart, Y., S. Nitsche, D. Chaudanson, K. Glucina and P. Moulin, The use of hrsem to characterize new and aged membranes in drinking water production, Membrane Water Treatment 4 (2011) 251-266.
- Wyart, Y., S. Nitsche, D. Chaudanson, K. Glucina and P. Moulin, The use of hrsem to characterize new and aged membranes in drinking water production, Membrane Water Treatment 4 (2011) 251-266.

Insertion professionnelle après thèse : publique et/ou privée