

Avis de Soutenance

Monsieur Ayoub RAHALI

Energétique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Contrôle de la mouillabilité de la surface dans la micro fluidique par intégration de silicium noir (BSi)

Travaux dirigés par Monsieur Thomas TILLOCHER et Monsieur Arnaud STOLZ

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : GREMI - Groupe de Recherches sur l'Energie des Milieux Ionisés

Soutenance prévue le **jeudi 21 mai 2026** à 14h00

Lieu : 12 Rue de Blois, Polytech site Galilée, 45100 Orléans

Salle : Amphithéâtre Turing

Composition du jury proposé

M. Thomas TILLOCHER	Professeur des universités	Université d'Orléans	Directeur de thèse
Mme Thérèse LEBLOIS	Professeure des universités	Université Bourgogne Franche-Comté	Rapporteuse
M. François BOULARD	Directeur de recherche	CEA-LETI	Rapporteur
M. Arnaud STOLZ	Maître de conférences	Université d'Orléans	Co-directeur de thèse
Mme Cécile GOURGON	Directrice de recherche	CNRS DELEGATION ALPES	Examinatrice
Mme Sophie ROMAN	Maîtresse de conférences	Université d'Orléans	Examinatrice

Mots-clés : Plasma, Cryogravure, Microfluidique, Microtechnologie, mouillabilité, Microstructuration

Résumé :

La microfluidique, fondée sur la manipulation de fluides à l'échelle micrométrique, s'est imposée comme un outil stratégique pour les applications en géosciences, notamment pour l'étude des écoulements multiphasiques en milieux poreux. Cependant, le succès de ces dispositifs repose sur la maîtrise d'une propriété de surface déterminante : la mouillabilité. Pour les applications en géosciences, cette problématique est particulièrement critique, car les systèmes poreux naturels présentent des hétérogénéités de surface qui régissent les phénomènes de déplacement et de piégeage de fluides. L'un des principaux défis consiste donc à contrôler la mouillabilité au niveau des surfaces et le long des parois internes des puces microfluidiques, afin de reproduire fidèlement ces hétérogénéités structurales. C'est dans ce contexte que le silicium noir (BSi), matériau micro-nanostructuré par gravure plasma, émerge comme solution novatrice. Dans ce travail, nous présentons une nouvelle approche sur la formation de BSi sur la surface et les parois verticales du canal microfluidique à l'aide d'un procédé de gravure cryogénique, une caractéristique jusqu'alors non explorée qui rapproche considérablement les dispositifs micro fluidiques de la complexité des roches réelles. Cette méthode crée des surfaces très rugueuses avec la possibilité d'ajuster la mouillabilité et qui ouvre également de nouvelles perspectives pour approfondir la compréhension à l'échelle des pores des écoulements multiphasiques, des transferts de masse et de la dynamique de piégeage pour l'étude des processus de la séquestration et le stockage du CO₂ dans les souterrains.

Summary:

Microfluidics, based on the manipulation of fluids at the micrometer scale, has established itself as a strategic tool for geoscience applications, particularly for the study of multiphase flows in porous media. However, the performance of these devices critically depends on mastering a key surface property: wettability. In geoscience applications, this aspect is especially important since natural porous systems exhibit surface heterogeneities that govern fluid displacement and trapping phenomena. One of the main challenges is therefore to control wettability at both the surface level and along the internal walls of microfluidic chips, in order to faithfully reproduce these structural heterogeneities. In this context, black silicon (BSi), a micro–nanostructured material produced by plasma cryoetching, emerges as an innovative solution.

In this work, we present a novel approach for forming BSi on both the surface and the vertical sidewalls of microfluidic channels using a cryogenic etching process an unexplored feature that brings microfluidic devices much closer to the complexity of natural rocks. This method produces highly rough surfaces with tunable wettability, thereby opening new perspectives for investigating multiphase flow dynamics, mass transfer, and trapping mechanisms at the pore scale, as well as for advancing studies related to subsurface CO₂ sequestration and storage processes.