

OFFRE DE THESE

Déconstruction en temps réel de la biomasse lignocellulosique par microfluidique et modélisation prédictive

Contexte de l'offre :

La biomasse lignocellulosique (BL) constitue une ressource renouvelable stratégique de carbone, principalement composée de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine. Bien que riche en polysaccharides fermentescibles, ces glucides sont étroitement intégrés dans une matrice lignifiée qui rend la BL fortement récalcitrante à la déconstruction par voie enzymatique.

Les procédés industriels actuels reposent sur des prétraitements physicochimiques sévères, énergivores, susceptibles de dégrader les sucres et de générer des sous-produits inhibiteurs. Le développement d'alternatives douces, peu énergétiques et compatibles avec les enzymes constitue donc un enjeu scientifique et technologique majeur pour les bioraffineries durables.

La microfluidique offre un contrôle sans précédent de la température, du pH, du temps de séjour et de l'hydrodynamique, tout en réduisant drastiquement la consommation de réactifs. Elle permet également un criblage à haut débit des conditions enzymatiques et un suivi temporel des phénomènes structuraux et cinétiques. Cependant, un verrou scientifique majeur subsiste : l'absence de corrélations quantitatives et résolues dans le temps entre l'évolution de la microstructure de la BL, les modifications chimiques et les cinétiques d'hydrolyse aux échelles cellulaire et tissulaire.

Cette thèse vise à lever ce verrou en développant, pour la première fois à notre connaissance, une plateforme microfluidique intégrée permettant d'effectuer séquentiellement prétraitement → neutralisation → hydrolyse enzymatique sur un même micro-échantillon structuré au sein d'une seule puce microfluidique. L'approche sera appliquée à une diversité représentative de ressources : Résineux (épicéa), Feuillus (peuplier), Résidus agricoles (paille de blé) afin d'obtenir des connaissances génériques sur la réactivité (qui dépend de la biomasse) dans des conditions douces.

Objectifs de la thèse :

Cette thèse s'inscrit dans le projet **μLB-Predict**, à l'interface entre génie biochimique et mécanique des fluides, financé par la Graduate School SIS de l'Université Paris-Saclay.

Les objectifs sont les suivants :

- **Développer une plateforme microfluidique intégrée** pour le prétraitement doux et l'hydrolyse enzymatique de la biomasse lignocellulosique, incluant l'optimisation des stratégies de prétraitement et des cocktails enzymatiques ;
- **Caractériser les mécanismes de déconstruction** en couplant imagerie confocale et cinétiques de saccharification, et établir des corrélations quantitatives entre évolution structurale et performance d'hydrolyse.
- **Construire un jumeau numérique prédictif** intégrant des descripteurs structuraux et cinétiques afin de modéliser la dynamique de conversion et identifier les étapes limitantes (outils MATLAB/Python).

Le/la doctorant(e) bénéficiera de l'expertise complémentaire du LGPM (Chaire de Biotechnologie, CentraleSupélec) et de l'UMR SayFood (INRAE, AgroParisTech). Le projet, qui se déroulera sur les deux sites, combine microfluidique, microscopie avancée, physico-chimie de la biomasse et modélisation numérique. Des communications écrites et orales en anglais seront requises tout au long de la thèse. L'inscription se fera à l'École Doctorale INTERFACES de l'Université Paris-Saclay. Le/la doctorant(e) bénéficiera d'un accompagnement scientifique ainsi que de formations aux compétences transversales.

Profil recherché :

Nous recherchons un(e) étudiant(e) titulaire d'un diplôme de Master (ou équivalent, cinq années d'études supérieures) en génie chimique, génie biochimique, génie des procédés, biotechnologies, mécanique des fluides ou dans toute discipline connexe.

Le/la candidat(e) retenu(e) devra faire preuve d'autonomie, de curiosité scientifique et d'une forte motivation pour travailler à l'interface entre expérimentation et modélisation. Un intérêt marqué pour la valorisation de la biomasse et les procédés durables est attendu. Des compétences de base en programmation (Python ou MATLAB), une expérience en laboratoire de recherche (notamment sur le volet expérimental), ainsi qu'un intérêt pour l'analyse d'images et la modélisation seraient fortement appréciés.

Le/la candidat(e) devra être capable de lire et de rédiger couramment en anglais.

Informations générales :

- Entités : Chaire de Biotechnologie, LGPM, CentraleSupélec, CEBB, Pomacle
UMR SayFood, INRAE-AgroParisTech, Campus Paris-Saclay, Palaiseau
- Durée : 3 ans à partir d'octobre 2026 (ajustable selon disponibilité du/de la candidat(e))
- Indemnité : 2300€ brut par mois. Le transport est remboursé par l'employeur à 75%

Candidatures :

Les candidatures, et demandes d'informations complémentaires, sont à adresser aux personnes ci-dessous. Le dossier comprendra notamment les pièces suivantes : CV, lettre de motivation, relevés de notes des trois dernières années d'étude, attestation d'un niveau B2/C1 en anglais si disponible (type TOEIC/TOEFL). Les candidatures seront traitées par ordre d'arrivée, pour une **date limite de dépôt le 15/04/2026**.

- Directrice de thèse : Giana ALMEIDA PERRE (giana.perre@agroparistech.fr)
- Co-encadrant : Kevin LACHIN (kevin.lachin@agroparistech.fr)
- Co-encadrante : Aya ZOGHLAMI (aya.zoghlami@centralesupelec.fr)
- Co-encadrant : Hassan EL ITAWI (hassan.el-itawi@centralesupelec.fr)

Références bibliographiques :

- ¹ A. Zoghlami, Y. Refahi, C. Terryn, G. Paës, *Three-Dimensional Imaging of Plant Cell Wall Deconstruction Using Fluorescence Confocal Microscopy*, *Sustain. Chem.* 1 (2020) 75–85. <https://doi.org/10.3390/suschem1020007>.
- ² Y. Refahi, A. Zoghlami, T. Viné, C. Terryn, G. Paës, *Plant cell wall enzymatic deconstruction: Bridging the gap between micro and nano scales*, *Bioresour. Technol.* 414 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131551>.
- ³ J.P. Lancha, P. Perré, J. Colin, P. Lv, N. Ruscassier, G. Almeida, *Multiscale investigation on the chemical and anatomical changes of lignocellulosic biomass for different severities of hydrothermal treatment*, *Sci. Rep.* (2021) 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87928-y>.
- ⁴ K. Lachin, Z. Youssef, G. Almeida, P. Perré, D. Flick, *Chemical Engineering Research and Design Residence time distribution analysis in the transport and compressing screws of a biomass pretreatment process*, *Chem. Eng. Res. Des.* 154 (2019) 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.12.011>.