

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>.

Ph.D. THESIS OFFER

Real-Time Microfluidic Deconstruction and Predictive Modeling of Lignocellulosic Biomass

CONTEXT:

Lignocellulosic biomass (LB) is a strategic renewable carbon feedstock mainly composed of cellulose, hemicelluloses and lignin. While rich in fermentable polysaccharides, these carbohydrates are tightly embedded in a lignin matrix that makes LB highly recalcitrant to enzymatic deconstruction. Current industrial valorization routes rely on harsh physicochemical pretreatments that are energy-intensive, may degrade sugars, and generate inhibitory by-products. Developing mild, low-energy, enzyme-compatible alternatives therefore represents a major scientific and technological challenge for sustainable biorefineries.

Microfluidics offers unprecedented control over temperature, pH, residence time and hydrodynamics while drastically reducing reagent consumption. It also enables high-throughput screening of enzymatic conditions and time-resolved monitoring of structural and kinetic phenomena. However, a major bottleneck remains: the lack of quantitative, time-resolved correlations between LB micro-architecture evolution, chemical modifications and hydrolysis kinetics at the cell and tissue scales.

This thesis aims to overcome this limitation by developing, for the first time, an integrated microfluidic platform enabling sequential pretreatment → neutralization → enzymatic hydrolysis on the same micro-structured biomass sample within a single microfluidic chip. The approach will be applied to a representative diversity of resources, including softwoods (spruce), hardwoods (poplar), and agricultural residues (wheat straw), allowing generic insights into biomass-dependent reactivity under mild conditions.

THESIS OBJECTIVES:

This PhD thesis is part of the μ LB-Predict project at the interface between biochemical engineering and fluid mechanics funded by the Graduate School SIS of Université Paris-Saclay.

The objectives of the study are as follows:

- **Develop an integrated microfluidic platform** for mild pretreatment and enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass, including optimization of pretreatment strategies and enzyme cocktails;
- **Characterize biomass deconstruction mechanisms** by coupling confocal imaging with saccharification kinetics and establishing correlations between structural evolution and hydrolysis performance;
- **Build predictive digital twin** integrating structural and kinetic descriptors to model conversion dynamics and identify rate-limiting steps using MATLAB/Python tools.

To carry out these tasks, the successful candidate will benefit from the complementary expertise of the LGPM (Chair of Biotechnology, CentraleSupélec) and UMR SayFood (INRAE, AgroParisTech) laboratories. The project, which will take place on both sites, will combine microfluidics, advanced microscopy, biomass chemistry and numerical modelling. Written and oral communications in English will be required throughout the thesis. The PhD student will enroll in the INTERFACES doctoral school of Université Paris-Saclay and will receive both scientific and transferable skills training during the PhD.

REQUIRED PROFILE:

We are looking for a student with a master's degree (or equivalent, five years of higher education) in Chemical Engineering, Biochemical Engineering, Process Engineering, Biotechnology, Fluid Mechanics, or any related discipline.

The successful candidate must be autonomous, scientifically curious and motivated to work at the interface between experimentation and modelling. Strong interest in biomass valorization and sustainable processes is expected. Basic programming skills in Python or MATLAB, lab work experience, and interest in image analysis and modelling would be highly appreciated. The candidate must be able to read and write fluently in English.

GENERAL INFORMATION:

- Entities: Chaire de Biotechnologie, LGPM, CentraleSupélec, CEBB, Pomacle SayFood joint research unit, Agro Paris-Saclay campus, Palaiseau
- Duration: 3 years starting October 2026 (subject to adjustment depending on the candidate)
- Remuneration: €2,300 gross per month. Transport costs are reimbursed by the employer at 75%

APPLICATIONS:

Applications and requests for further information should be sent to the people listed below. The application file should include the following documents: CV, cover letter, reports for the 3 last academic year, TOEIC certificate or equivalent (if available) assessing a B2/C1 level in English. Applications will be processed in order of arrival, with a **deadline of April 15, 2026**.

- Ph.D. director: Giana ALMEIDA PERRE (giana.perre@agroparistech.fr)
- Co-supervisor: Kevin LACHIN (kevin.lachin@agroparistech.fr)
- Co-supervisor: Aya ZOGHLAMI (aya.zoghلامي@centralesupelec.fr)
- Co-supervisor: Hassan EL ITAWI (hassan.el-itawi@centralesupelec.fr)

BIBLIOGRAPHY:

- ¹ A. Zoghلامي, 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>.
- ⁵ Y. Refahi, A. Zoghلامي, 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>.
- ⁶ 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>.
- ⁷ 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>.