



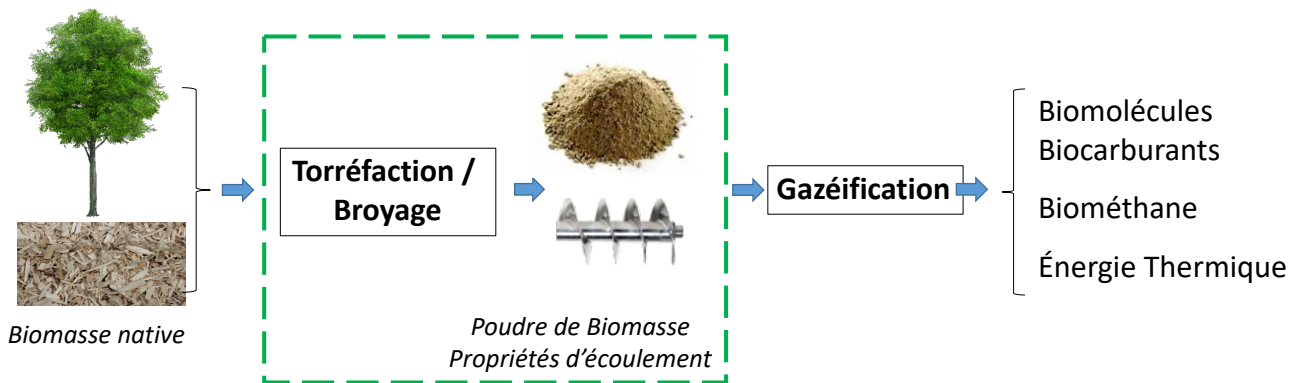
**Valorisation de biomasse lignocellulosique par voie sèche :  
Étude de la coulabilité des poudres de biomasse torréfiée**

**OFFRE DE STAGE**

*Possibilité de poursuivre en thèse*

**Champs disciplinaires :** Procédés thermochimiques, Milieux granulaires, Caractérisation physique, Imagerie, Modélisation & calcul numérique.

**Mots clés :** Biocarburants & biomolécules de 2<sup>nd</sup>e génération, Torréfaction, Broyage, Granulométrie, Écoulement sans contrainte, Discrete Element Method



**CONTEXTE**

L'utilisation de biomasse lignocellulosique pour la production de biocarburants et biomolécules de seconde génération est séduisante car les matières premières utilisées ne sont pas comestibles : leur valorisation industrielle est une alternative crédible au carbone fossile, et ce sans entrer en concurrence directe avec les débouchés alimentaires.

Une des voies de conversion privilégiée consiste en une gazéification suivie d'une synthèse Fisher-Tropsch, dite voie sèche (à opposer à la voie humide : hydrolyse et fermentation). Préalablement à la phase de conversion thermochimique, un broyage de la biomasse solide en poudre est nécessaire pour réduire sa granulométrie et ainsi augmenter sa réactivité. Or, en raison du caractère fibreux de la biomasse lignocellulosique, cette étape de broyage est énergivore et altère la pertinence économique de cette voie de valorisation. Ainsi, la biomasse est en amont torréfiée (pyrolyse ménagée sous azote) afin d'en réduire la résilience et donc le coût énergétique du broyage.

La biomasse devient alors beaucoup plus friable et les faciès de rupture sont différents. Les propriétés d'écoulement de la poudre obtenue à l'issue du broyage sont donc modifiées. Ainsi l'application de ce prétraitement est susceptible de favoriser ou d'altérer la coulabilité de la biomasse, et donc de lever des verrous ou, au contraire, de générer des difficultés de stockage et manutention au sein des installations industrielles. La compréhension et la prédiction des propriétés d'écoulement de ces milieux granulaires est donc indispensable.

Le Laboratoire de Génie des Procédés et Matériaux (CentraleSupélec, Gif-sur-Yvette) a développé une expertise forte sur le broyage couplé à la torréfaction de la biomasse. Cette expertise se décline selon deux angles :

- d'une part, la maîtrise des procédés par des outils applicables à l'échelle du laboratoire,
- d'autre part, la caractérisation de la biomasse prétraitée (propriétés granulométriques, hygrothermiques, énergétiques, mécaniques, etc.).

Le sujet proposé ici s'inscrit dans ce second axe.



La coulabilité **sous contraintes** de la poudre de biomasse torréfiée a déjà fait l'objet de recherches approfondies, utiles à la prédiction de son comportement dans les unités de stockage industrielles par exemple.

### OBJECTIFS

L'objectif du stage est d'étudier les propriétés d'écoulement **libre** (à l'état non consolidé) de poudres de biomasse torréfiée, dont la granulométrie est conforme aux spécifications industrielles. La connaissance générée doit aider à la prédiction du comportement des poudres lors des phases de convoyage et d'injection dans les réacteurs de gazéification.

Plus spécifiquement et en fonction du profil du/de la candidat(e) retenu(e), il s'agira, parmi les propositions suivantes, de :

- combiner des essais de coulabilité de divers matériaux granulaires en tambour tournant à l'analyse d'images ; identifier l'indicateur pertinent du comportement des poudres à l'état non consolidé ; finaliser un article scientifique à soumettre au cours du stage,
- étudier l'effet des caractéristiques des particules (distribution de tailles et intensité de la torréfaction) sur l'écoulement libre des poudres usuellement utilisées dans l'industrie,
- simuler (DEM) le comportement des poudres non tamisées dans un tambour rotatif.

### MISSIONS

Les principales missions du stage porteront donc sur :

- la production de poudres à analyser : échantillonnage à partir de biomasse non traitée, torréfaction, broyage, tamisage,
- la caractérisation de poudres de biomasse (granulométrie optique),
- la réalisation de mesures de coulabilité en tambour tournant et l'exploitation des résultats par analyse d'images (Matlab),
- la simulation d'écoulements avec le logiciel LIGGGHTS,
- la rédaction d'un article scientifique.

Une étude bibliographique sera par ailleurs demandée au ou à la stagiaire afin qu'il ou elle puisse confronter ses résultats à ceux de la communauté scientifique du domaine.

### MODALITÉS PRATIQUES

D'une durée de 4 à 6 mois, le stage aura lieu sur le campus de Gif-sur-Yvette au sein du LGPM. L'étudiant(e) sera amené(e) à effectuer une partie de ses expérimentations au sein du Centre Européen de Biotechnologie et de Bioéconomie (Pomacle, 51) où sont hébergés une partie des équipements du LGPM.

Le ou la stagiaire disposera de tous les moyens, matériels et humains, nécessaires au bon déroulement de son stage. Il ou elle pourra s'appuyer sur les compétences du laboratoire, notamment en conception expérimentale en imagerie. Par ailleurs, il ou elle bénéficiera de moyens matériels et numériques acquis et développés dans le cadre d'un précédent doctorat.

Une gratification mensuelle sera attribuée selon la grille de rémunération des stages en vigueur.

### PROFIL RECHERCHÉ

Ce stage s'adresse aux étudiant(e)s en École d'ingénieur et en Master 2 dans l'un des domaines suivants : Génie des Procédés, Sciences des Matériaux et Mécanique.

La rigueur expérimentale est une qualité nécessaire au bon accomplissement de ces travaux. Il est également attendu que l'étudiant(e) fasse preuve de curiosité, d'initiative, d'analyse critique et d'autonomie au cours de ce stage. Le ou la candidat(e) doit démontrer un intérêt pour la recherche académique (dans la perspective de poursuivre en doctorat) et des compétences en sciences numériques (analyse d'images, simulation).

Une maîtrise de la langue anglaise est exigée.

### ENCADRANTS

Julien COLIN, Maître de conférences (01 75 31 60 04)

François PUEL, Professeur (06 65 58 58 64)



## CONTACTS

Les candidatures, comprenant un CV détaillé, une lettre de motivation et les bulletins des deux dernières années, sont à adresser aux deux contacts suivants :

[julien.colin@centralesupelec.fr](mailto:julien.colin@centralesupelec.fr)

[francois.puel@centralesupelec.fr](mailto:francois.puel@centralesupelec.fr)

## BIBLIOGRAPHIE

Almeida G., Brito J.O., Perré P., 2010 – *Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: the potential of mass loss as a synthetic indicator*, Bioresource Technology 101(24): 9778-9784

Illic D., Williams K., Farnish R., Webb E., Liu G., 2018 – *On the challenges facing the handling of solid biomass feedstocks*, Biofuels, Bioproduction Biorefinery 12(2): 1-16

Pachón-Morales J., Colin J., Casalinho J., Perré P., Puel F., 2020 – *Flowability characterization of torrefied biomass powders: Static and dynamic testing*, Biomass and Bioenergy 138: 13p.

Pachón-Morales J., Colin J., Pierre F., Puel F., Perré P., 2019 – *Effect of torrefaction intensity on the flow properties of lignocellulosic biomass powders*, Biomass and Bioenergy 120: 301-312

Pachón-Morales J., Do H., Colin J., Puel F., Perré P., Schott D., 2019 – *DEM modelling for flow of cohesive lignocellulosic biomass powders: Model calibration using bulk tests*, Advanced Powder Technology 30(4): 732-750

Pachón-Morales J., Perré P., Casalinho J., Do H., Schott D., Puel F., Colin J., 2019 – *Potential of DEM for investigation of non-consolidated flow of cohesive and elongated biomass particles*, Advanced Powder Technology 31(4): 1500-1515

Pierre F., Almeida G., Colin J., Perré P., 2017 – *Reduction of biomass resilience by torrefaction: apparent stiffness during failure (ASF) and specific failure energy (SFE) assessed by a custom impact device*, Holzforschung 71(11): 863-872