

PROPOSITION DE THÈSE

Sujet	Stratégie de gestion optimale d'une production électrique utilisant de la poudre de biomasse micronisée
Direction, encadrement	Pascal HIGELIN Guillaume COLIN Christian CAILLOL
Laboratoire	Laboratoire PRISME , UR 4229 8 rue Léonard de Vinci, 45072 Orléans Cedex 2, FRANCE
Ecole Doctorale	Énergie - Matériaux - Sciences de la Terre et de l'Univers (EMSTU)

Contexte et positionnement de l'étude :

Alors que les capacités installées de l'énergie éolienne et solaire ont fait des progrès significatifs, des sources d'énergie complémentaires non intermittentes et des procédés de stockage sont nécessaires pour élargir le portfolio énergétique mondial afin d'atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre tout en satisfaisant la croissance de la demande mondiale d'électricité [1]. L'ensemble des moyens de stockage, qu'ils relèvent de la chimie, de l'électrochimie, de la mécanique ou de l'hydraulique, doivent accélérer leur viabilité technico-économique pour une intégration dans le réseau électrique afin de garantir une gestion électrique flexible garantissant une sécurité et une stabilité de l'approvisionnement.

Le concept qui sera étudié dans le travail proposé est basé sur l'utilisation d'un moteur à combustion interne (MCI), couplé à un générateur électrique, directement alimenté par des résidus solides de biomasse micronisée. Le générateur peut être intégré à un système électrique hybride couplant plusieurs sources d'énergies renouvelables qui sont connectées au réseau électrique ou non (micro-réseau). La figure 1 présente l'architecture globale du concept ainsi que les différents processus impliqués impactant la gestion optimale de l'énergie dans le système. La surproduction des énergies renouvelables est utilisée pour préparer la biomasse ultrafine, formant ainsi un système électrique neutre en carbone et permettant de contrôler les énergies solaire et éolienne. Dans cette approche, la biomasse apparaît alors comme un nouveau vecteur énergétique permettant d'assurer le stockage de l'énergie à long terme.

Le processus de transformation de la récolte de la biomasse au réseau est très simplifié par rapport à d'autres processus nécessitant des transformations thermo-chimiques complexes. Le processus proposé consiste à utiliser les propriétés d'auto-inflammation de la poudre micronisée dans la chambre de combustion du moteur, ce qui permet à la production de biocarburant de rester sous forme solide.

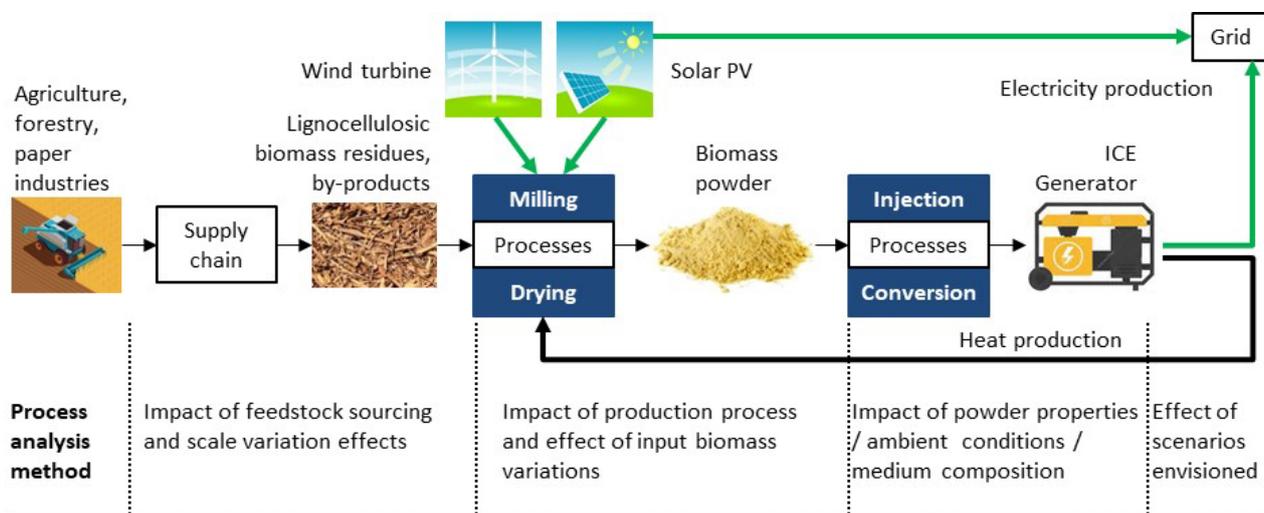


Fig. 1 : Architecture simplifiée du concept global

Cette stratégie alternative d'alimentation d'un moteur à combustion interne en biocarburant consiste donc à utiliser des biocarburants peu raffinés. Si l'idée d'utiliser de la poudre de charbon dans les moteurs a été largement étudiée, les travaux portant sur la combustion de poudre de biomasse micronisée dans un moteur sont très récents. Une étude précédente a montré la faisabilité et validé l'intérêt pratique du concept d'alimentation directe en poudres de biomasse d'un moteur. Plusieurs essais exploratoires ont été réalisés avec un moteur diesel monocylindre ayant fonctionné avec des poudres micronisées de cellulose, de charbon de bois, de paille de blé, de bois de châtaignier, de balle de riz et d'écorce de pin avec une taille moyenne de 20 μm [2]. Pour comprendre et décrire les phénomènes, une première approche numérique a montré que la transition d'un processus de production de CO d'abord limité par la chimie puis limité par la convection est restreinte aux particules de moins de 50 μm à mesure que les températures dans le cylindre augmentent [3].

Objectifs et déroulement de la thèse :

La première tâche du travail de thèse consistera à étendre le modèle développé afin de décrire entièrement le processus de combustion, en conditions moteur, pour toutes les tailles de particules et de caractériser le rôle de la cinétique d'oxydation du CO sur le dégagement de chaleur. Actuellement, les modèles de combustion de biomasse décrits dans la littérature sont développés dans des conditions de pression atmosphérique. Le modèle développé devra intégrer l'influence des taux de chauffage et des profils de pression sur les différents processus physico-chimiques impliqués : pyrolyse, gazéification et oxydation du char, réactions en phase gazeuse à l'intérieur et à proximité de la particule, dans un premier temps pour une seule particule de biomasse puis pour une distribution de taille de particules. Les résultats devront permettre de comprendre comment le couplage entre les caractéristiques des particules et les conditions thermodynamiques du gaz environnant peut influencer les aspects fondamentaux de la conversion thermo-chimique de la biomasse. L'objectif sera d'explorer l'impact des caractéristiques de la biomasse (type, taille, morphologie, teneur en matières volatiles, humidité) sur le processus de dévolatilisation et sur le processus de combustion : régimes de combustion (oxydation hétérogène en surface / combustion homogène en phase gazeuse), température, dégagement de chaleur lorsque les conditions ambiantes varient. La validation du modèle développé pourra s'appuyer sur les résultats expérimentaux présentés dans la thèse de L. Stover [4] : pression dans la chambre de combustion, dégagement de chaleur, mesure des espèces chimiques à l'échappement, analyse proximale, distribution de tailles de particules avant et après combustion ... Les simulations à l'aide du modèle seront alors utilisées pour définir la gamme acceptable de distributions de tailles et de niveaux d'humidité qui influenceront la conception du broyage, de la séparation et du séchage pendant la production de poudre.

Une réduction du modèle physique développé devra être menée dans une seconde étape pour pouvoir intégrer la puissance produite par le moteur dans un modèle global de production hybride d'électricité intégrant plusieurs autres sources d'énergie renouvelables. Ce modèle orienté pour le contrôle devra donc comprendre les énergies renouvelables (éolien et/ou photovoltaïque), le groupe électrogène basé sur le moteur thermique à biomasse, incluant la production de chaleur, et l'élément de stockage de biomasse. Une stratégie de gestion de l'énergie sera alors nécessaire pour coordonner intelligemment les différentes sources de ce système électrique hybride [5] tenant compte des dynamiques (thermique, stockage). Étant donné que la conception du contrôle du système hybride influence la consommation de poudre de combustible et donc le dimensionnement du système de production de poudre micronisée, une stratégie optimale [6, 7, 8] sera développée pour résoudre le problème de la gestion de l'énergie. Des scénarios seront simulés avec des énergies intermittentes telles que le solaire ou l'éolien et des périodes de faible demande durant lesquelles la production de poudre de biomasse pourra être réalisée pour stocker l'énergie excédentaire afin de produire de l'électricité à la demande. Grâce à ce travail, une contrôlabilité des énergies renouvelables sera obtenue.

Profil et compétences recherchées :

Ingénieur grande école et/ou master 2 en énergétique et/ou automatique

Connaissances en énergétique (thermodynamique, transferts de chaleur, combustion) et/ou en mathématiques appliquées (automatique, contrôle, optimisation).

Une expérience en programmation et modélisation serait appréciée.

Postuler à cette offre :

Transmettre CV, lettre de motivation et relevé de notes **avant le 21 février 2025** à Phd_optimbiopowder@univ-orleans.fr

Références :

- [1] IRENA (2021), World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [2] L. Stover, B. Piriou, C. Caillol, P. Higelin, C. Proust, X. Rouau and G. Vaïtilingom, Direct use of biomass powder in internal combustion engines, *Sustainable Energy & Fuels* 3(10) (2019) 2763-2770.
- [3] L. Stover, C. Caillol, B. Piriou, C. Mayer-Laigle, X. Rouau, G. Vaïtilingom, 2023, A phenomenological description of biomass powder combustion in internal combustion engines, *Energy*, Volume 274, 127287.
- [4] L. Stover, Thèse de l'Université d'Orléans : Etude de la combustion de poudre ultrafine de biomasse en moteur.
- [5] F.J. Vivas, A. De las Heras, F. Segura, J.M. Andújar, A review of energy management strategies for renewable hybrid energy systems with hydrogen backup, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82(1) (2018) 126-155.
- [6] P. Michel, A. Charlet, G. Colin, Y. Chamaillard, G. Bloch, Optimizing fuel consumption and pollutant emissions of gasoline-HEV with catalytic converter, *Control Engineering Practice*, Elsevier (2017).
- [7] L.A Wulf Ribelles, K. Gillet, G. Colin, A. Simon, Y. Chamaillard, C. Nouillant (2024). Analytical Eco-Driving for electric and conventional vehicles: A unified computational approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 169
- [8] E. Solano-Araque, G. Colin, G.M. Cloarec, D. Ourabah, Y. Chamaillard (2024). Towards a Real-Time Automated Eco-driving Algorithm Based on Human Cognition with Drivability Constraints. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*.