



Traitement thermique du bois, optimisation et contrôle

Responsable scientifique : Mathieu PETRISSANS, Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMaB)

Partenaires Labex : Laboratoire d'Etudes des Ressources Forêt Bois (LERFoB),

Collaborations : National Cheng Kung University, Tainan, TAIWAN, Université de Brasilia, BRESIL

(Rapport intermédiaire)

Contexte —

Le traitement thermique du bois vise la production de matériaux bio-sourcés, biodégradables et réutilisables en fin de vie pour la production d'énergie. La transformation du bois sous l'effet de la chaleur, dans une atmosphère inerte (vapeur d'eau, azote, vide, fumées), confère au matériau durabilité et stabilité dimensionnelle. Malgré un fort développement du procédé depuis les années 1980, le produit peine à gagner des parts de marché. Le manque d'engouement est dû à la disparité de la qualité du matériau, aux rebuts et aux retours clients. La mauvaise maîtrise du procédé est principalement due à l'incapacité de connaître, de déterminer ou de prédire le temps de traitement d'une charge de bois déterminée (variabilité inter et intra essences, charge en humidité, charge en matières minérales). Cette absence de pilotage de l'outil industriel est liée à la grande difficulté à modéliser les courbes de thermo-dégradation du bois. Ce déficit est constaté à l'échelle du laboratoire sur des échantillons de quelques milligrammes et par conséquent à l'échelle industrielle pour des kilogrammes.

Objectifs —

Dans un circuit économique déjà existant (marchés, produits) le projet de recherche se positionne dans une dynamique d'optimisation du procédé de traitement thermique de bois dans le but d'atteindre un optimum entre la qualité du produit fini et les coûts de production. Ainsi, l'objectif du projet est de concevoir un moyen de contrôle ou de pilotage des fours industriels par l'élaboration d'un outil informatique qui serait capable de :

- prédire des temps de traitement à partir de la connaissance fine des cinétiques de thermodégradation et des transferts masse-énergie à l'échelle de la paillasse et à l'échelle industrielle ;
- élaborer des prévisions d'exploitation de l'outil de production en optimisant coûts et impacts environnementaux ;
- conduire et piloter des fours en mode automatique, prenant en compte les caractéristiques physico-chimiques de la charge entrante.

Démarche —

Le travail se décline en 5 parties :

- Amélioration des connaissances des mécanismes chimiques de thermodegradation sous une atmosphère inerte de différente nature ;
- Approfondissement de l'analyse de la modification des propriétés du bois durant le traitement (propriétés physiques, composition chimique, densité énergétique) ;

- Modélisation des cinétiques de thermodegradation, prédiction des temps de cuisson pour atteindre un objectif de qualité
- Modélisation de la probabilité de réussite à l'échelle de la planche individuelle
- Validation, en conditions industrielles d'exploitation de l'outil de prédiction.

Résultats marquants —

Début des travaux mai 2016.

- Mises en place des outils d'investigations expérimentaux et leurs environnements sur le site LERMAB-IUT Epinal (étuves, scie d'échantillonnage, four semi-industriel suivi dynamique de la masse)
- Mise en service du four de traitement thermique semi-grand. Etalonnage et validation de la chaîne d'acquisition des courbes de variations de la masse de bois durant le traitement. Suivi avec la précision du gramme, sur une pesée complète du four de 80kg, de l'évolution de la masse de bois (2kg).
- Développement d'un modèle de la thermodégradation du bois sous COMSOL. Validation des premiers modèles à l'aide d'un jeu de données ancien (Doctorat Mounir CHAOUCH 2011).
- Réalisation d'une campagne de mesure sur 2 essences (Pin et Peuplier) pour 4 niveaux de température et des temps long d'acquisition : 50h par expérience.
- Réalisation d'une campagne de mesure sur le bois traité ou non traité : analyse élémentaire, composition des cendres, analyses thermogravimétriques (ATG), spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), analyses cristallographiques (cristallinité de la cellulose) par diffraction des rayons X (XRD). Travaux réalisés au Green Energy and Fuel Laboratory, GENFUEL, Tainan, août 2017.
- Modélisation des cinétiques de pertes de masse, identification des paramètres du modèle grâce aux mesures expérimentales. Validation du modèle.
- Analyse numérique du chemin réactionnel de thermodégradation.
- Modélisation de la composition élémentaire et de la densité énergétique (PCS) du bois traité thermiquement.

Exploitation et valorisation des résultats :

- 9 communications internationales et nationales
- Soumission (2017) de 2 publications déposées respectivement à Journal of Cleaner Production (IF 5,715) et Bioresource Technology (IF 5,651).

Principales conclusions incluant des points-clés de discussion —

Après 18 mois, le projet est en capacité de modéliser des jeux de données à l'échelle semi-industrielle de thermodégradation du bois. L'outil numérique nous permet donc de prédire le temps de traitement. D'autre part cet outil numérique nous offre de nouvelles pistes de compréhension des mécanismes chimiques de thermodégradation de la biomasse. L'étude expérimentale réalisée durant l'été à Taiwan, ouvre également de nouvelles pistes pour une meilleure compréhension du comportement à la thermodégradation, de différentes essences de bois, par utilisation détournée de l'ATG. L'ATG pourrait être utilisée comme un outil d'analyse du niveau de thermodégradation du bois après traitement.

Perspectives —

Le travail va se poursuivre suivant le schéma présenté ci-dessous (18 mois) :

- Campagne de mesure de l'influence de la vitesse de montée en température avec une mesure couplée de la consommation énergie du procédé. Cette campagne est dédiée à l'affinage du modèle mais aussi à valider et optimiser l'impact environnemental du procédé.
- Campagne de mesure de l'influence de la composition de l'atmosphère du four. Cette atmosphère est censée être inerte. Cependant des éléments de la littérature nous laissent penser que l'utilisation du vide, de la vapeur d'eau ou d'une teneur en oxygène variable peut affecter le processus. Cette campagne est dédiée à l'affinage du modèle.
- Enfin, après intégration de l'influence de la vitesse de montée en température, nous espérons valider nos prédictions de temps de traitement à l'échelle industrielle : société Silvalbp.

Valorisation —

Conférences:

1. J. Hamada, B.J. Lin, A. Pétrissans, W.H. Chen, P. Gérardin, M. Pétrissans, Effect of silver pin's forest management on radial density distribution, thermal behaviour and final quality of the heat treated wood, COST Action FP1407 2nd Conference, Brno, Czech Republic, 29-30 September 2016.
2. E.A. Silveira, A. Pétrissans, A. Caldeira-Pires, P. Rousset, M. Pétrissans, Wood thermal degradation: prediction of process parameters, solid mass yield, by two mathematical models, COST Action FP1407 2nd Conference, Brno, Czech Republic, 29-30 September 2016.

3. B.J. Lin, A. Pétrissans, P. Rousset, W.H. Chen, M. Pétrissans, Kinetic parameters from wood thermal degradation under vacuum to implement a mathematic model, 5èmes journées du GDR 3544 «Sciences du bois » - Bordeaux, 8-10 novembre 2016.
4. E.A. Silveira, A. Pétrissans, A. Caldeira-Pires, P. Rousset, M.V. Girão, M. Pétrissans, Torrefaciton du Bois: prédictions de la cinétique de dégradation thermochimique sous l'influence d'un champ acoustique par un modèle mathématique, 5èmes journées du GDR 3544 «Sciences du bois » - Bordeaux, 8-10 novembre 2016.
5. B.J. Lin, E. Silveira, B. Colin, M. Chaouch, A. Pétrissans, P. Rousset, M. Pétrissans. Experimental and numerical analysis of poplar thermodegradation. The 6th International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP-2017), September 25-27, Lahti, Finland, 2017.
6. E. Silveira, Influence d'un champ acoustique dans la cinétique de dégradation thermochimique pendant la torréfaction du bois, Séminaire annuel 2017 Ecole doctorale RP2E 'Cycle des métaux : de la ressource primaire à l'impact environnemental', 2 février 2017, Nancy.
7. E. Silveira, B.J. Lin, B. Colin, M. Chaouch, A. Pétrissans, P. Rousset, M. Pétrissans. Mathematical approach to build a numerical tool for mass loss prediction during wood torrefaction. The 6th International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP-2017), September 25-27, Lahti, Finland, 2017.
8. B.J. Lin, E. Silveira, B. Colin, A. Pétrissans, W.H. Chen, P. Rousset, M. Pétrissans. Prediction of mass loss dynamics during wood thermal modification under industrial conditions. COST Action FP1407 and 3rd Conference- Wood modification research and applications", September 14-15, Kuchl/Salzburg, Austria, 2017.
9. E. Silveira, A. Pétrissans, A.C. Pires, M.V. Girão, B. Colin, P. Rousset, M. Pétrissans. Improvement of wood heat treatment via an acoustic field. COST Action FP1407 and 3rd Conference- Wood modification research and applications", September 14-15, Kuchl/Salzburg, Austria, 2017.

Distinction :

Bo-Jhih LIN, distinction du "meilleur poster étudiant", COST Action FP1407 3rd Conference "Wood modification research and applications" les 14 et 15 septembre 2017, Kuchl en Autriche.

Effet levier du projet

- Mise en place d'une collaboration internationale et de l'adhésion de l'Université de Brasilia au projet Européen COST ACTION FP1407 (<http://costfp1407.iam.upr.si>) auquel le projet est fortement associé.
- Mise en place d'une collaboration avec l'université de Brasilia, BRESIL (co-tutelle d'étude doctorale)
- Accueil de Professeur Invité financé par le LABEX ARBRE. Le Pr. Wei-Hsin Chen (<http://myweb.ncku.edu.tw/~chenwh/hcelab/index.html>), National Cheng Kung University, Tainan, TAIWAN a effectué un séjour de 1 mois en juillet 2017 pour approfondir et intensifier les échanges dans le cadre du projet WOHTOC.