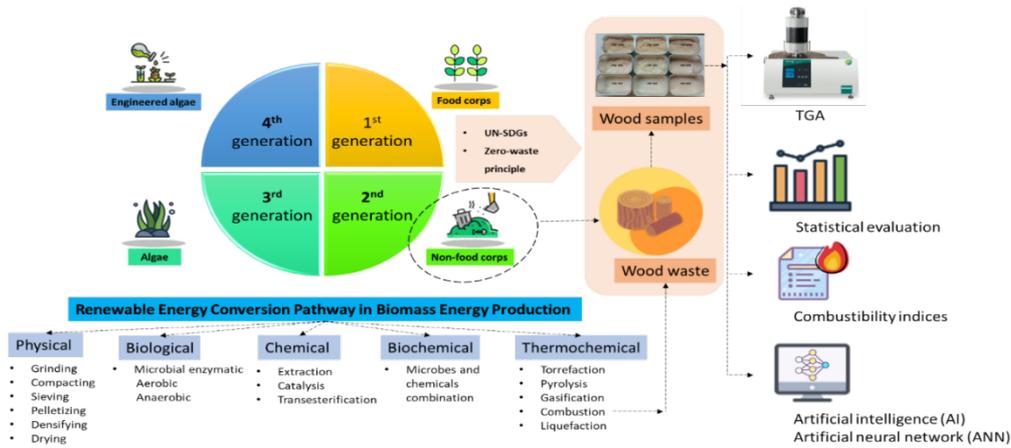
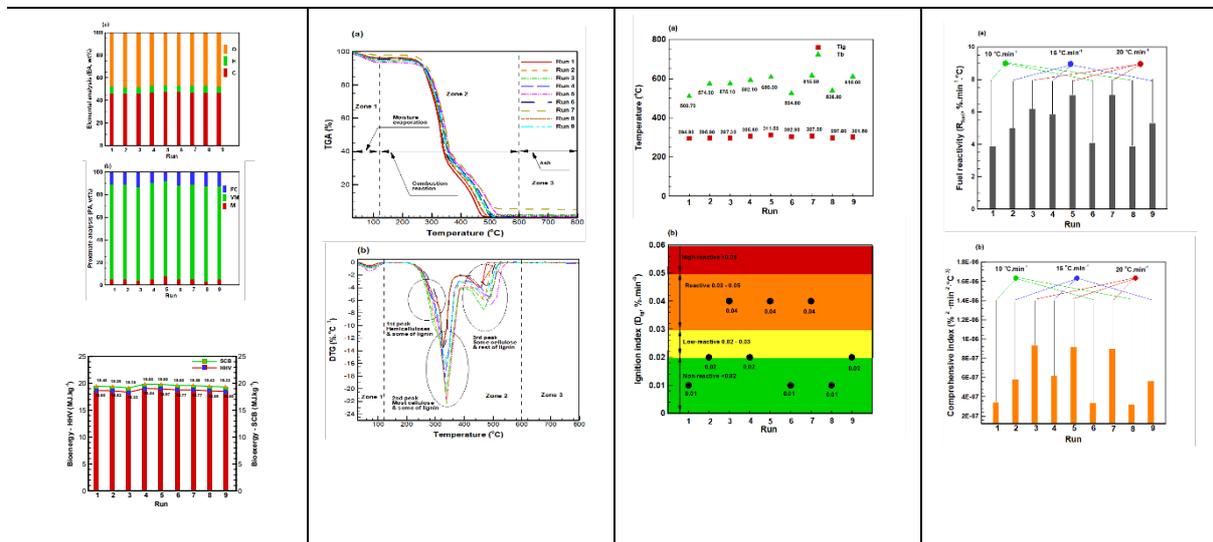


# CASAVA-B2



Graphique 1a. Etude de combustion directe via TGA couplée à une analyse statistique et à l'IA assistée.



Graphique 1b. Caractérisation, analyses de produits et indices de combustibilité.

## Analyse complète de la valorisation décarbonée de la biomasse lignocellulosique avec intelligence artificielle-Conception assistée dans la production de biomatériaux et de biocarburants

Prénom, Nom du porteur : Anélie Pétrissans, Laboratoire d'Etude et de Recherche sur le Matériau Bois, Université de Lorraine LERMAB, USC INRAE, Epinal, France

Partenaires Labex : Wei-Hsin CHEN, GENFUEL, NCK University, Tainan, TAIWAN, Vanessa FIERRO, Institut Jean Lamour, Université de Lorraine (IJL), Epinal, FRANCE

Action thématique concernée : WP3



### **Contexte —**

Les déchets de bois recyclés (feuillus, résineux, mélange de bois) sont traités thermochimiquement (combustion) et analysés statistiquement afin de comprendre leur potentiel en tant que combustible de biomasse renouvelable (biocarburant). Des analyses de bioénergie et de bioexergie ainsi qu'une évaluation statistique et un modèle d'intelligence artificielle sont utilisées pour évaluer la caractérisation des déchets de bois et les performances du processus de combustion. La quantité et la qualité des déchets de bois recyclés sont bien représentées par les indices de combustion.

### **Objectifs —**

La quantité de déchets de bois massif dans les pays européens, en particulier en France, est considérable. Afin de convertir les déchets de bois en produits ajoutés à plus grande valeur, les trois types de déchets de bois (feuillus, résineux et mélanges de bois) ont été traités pour obtenir le biocombustible potentiel. Le recyclage des déchets lignocellulosiques en biocarburant est considéré comme une méthode efficace qui s'inscrit dans les objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies (ONU-ODD) : l'énergie propre et abordable (ODD7), la consommation et la production responsables (ODD12) et l'action climatique (ODD13), respectivement. De plus, étant donné que les biodéchets lignocellulosiques utilisés dans cette étude sont collectés à partir des déchets de bois d'activités industrielles, le neuvième objectif de l'industrie, des infrastructures et de l'innovation (ODD9) et le principe zéro déchet pour la gestion de la production de déchets sont considérablement alignés dans la présente étude.

### **Démarche —**

Les déchets de bois (feuillus, résineux et mélange de bois) sont explorés pour le comportement de thermodégradation de combustibilité via la méthode de l'analyse thermogravimétrique (ATG) intégrée au plans d'expériences DoE (design of experiments) de l'approche orthogonale de Taguchi, qui étudie également l'influence des paramètres qui peuvent survenir. L'évaluation statistique et l'analyse de l'intelligence artificielle – réseau de neurones artificiels (AI-ANN) sont fournies pour évaluer le paramètre expérimental et simuler la prédiction du modèle pour les déterminations de bioénergie et de bioexergie. Les approches utilisées pour analyser la valorisation des déchets de bois dans cette étude sont la caractérisation, les indices de combustibilité, l'évaluation statistique et l'analyse de modèles d'intelligence artificielle.

### **Résultats marquants —**

1. La combustion directe des déchets de bois via ATG est étudiée à l'aide de statistiques et l'IA.
2. L'indice SCB (bioexergie chimique spécifique) est généralement plus élevé que le PCS (pouvoir calorifique supérieur), avec un rapport SCB/PCS de 1,043 à 1,046.
3. L'indice d'inflammabilité  $D_{ig}$  (0.01–0.04), l'indice de réactivité du carburant  $R_{fuel}$  (3.82–6.97  $\% \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$ ) et l'indice de combustion global ( $S_n$ ), sont déterminés.
4. L'évaluation statistique montre que le type de déchets de bois a un impact significatif sur le PCS et le SCB.
5. Le modèle ANN utilisant 1 couche cachée et 5 neurones peut prédire le PCS et le SCB avec  $R^2 = 1$ .

### **Principales conclusions incluant des points-clés de discussion —**

Les évaluations de la bioénergie et de la bioexergie suggèrent que les résineux ont les valeurs les plus élevées de PCS (18,84  $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) en raison de la teneur en C la plus élevée par rapport au mélange de bois ou au bois feuillus. La combustion des composants lignocellulosiques identifie trois zones distinctes : l'évaporation de l'humidité (zone I), la réaction de combustion (zone II) et les restes de cendres (zone III). Les courbes TGA et DTG (dérivée de la thermogravimétrie) obtenues en utilisant des vitesses de montée en température classiques (10, 15 et 20  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ ) suggèrent que les hémicelluloses sont d'abord dégradées vers  $<275^{\circ}\text{C}$ , tandis que la dégradation de la cellulose et de la lignine apparaît vers 275–600  $^{\circ}\text{C}$ . Les indices de combustibilité ( $D_{ig}$ ,  $R_{fuel}$  et  $S_n$ ) des déchets de bois montrent trois types d'indice d'inflammation ( $D_{ig} = 0,01-0,04$ ) : non réactif, faiblement réactif et réactif ; le taux de réactivité du combustible ( $R_{fuel}$ ) décrit les déchets de bois avec un taux de réactivité faible à moyen de 3,82 à 6,97  $\% \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$  ; et l'indice de combustion global ( $S_n$ ) suggère que les déchets de bois ont une meilleure performance de combustion que le charbon bitumineux ( $> 5 \times 10^{-7} \cdot \% ^2 \cdot \text{min}^{-2} \cdot \text{C}^{-3}$ ). L'évaluation statistique montre que les valeurs les plus élevées de PCS sont obtenues en effectuant une combustion à une vitesse de chauffe de 15  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  pour le bois résineux de granulométrie de 250  $\mu\text{m}$ . Le rapport signal/bruit et les résultats de l'ANOVA s'accordent à dire que la nature de déchets de bois, et la taille des particules sont les paramètres les plus influents.



L'IA utilisant le modèle de réseau de neurones artificiels (ANN) indique que la meilleure qualité d'ajustement ( $R^2=1$ ) est obtenue avec 1 couche cachée et 5 configurations de neurones pour prédire le PCS.

### **Perspectives —**

Le présent travail étudie la combustion des déchets et sous-produits de bois via la méthode d'analyse par thermogravimétrie (ATG) couplée au réseau orthogonal de Taguchi, à l'évaluation statistique et à l'intelligence artificielle (IA) pour prédire la bioénergie (pouvoir calorifique supérieur, PCS) et l'exergie ou bioexergie de la biomasse (bioexergie chimique spécifique, SCB). Parmi les trois types de déchets de bois, le bois résineux présente une meilleure performance de combustibilité et de PCS-SCB que les déchets de feuillus et de mélange de bois. Les éléments chimiques (CHONS) jouent un rôle important dans la caractérisation des biocarburants. L'ajustement des conditions opérationnelles de la voie de conversion thermochimique est essentiel pour utiliser le biocarburant de manière efficace et efficiente. L'évaluation statistique permet de mieux comprendre la validité et l'exactitude des données obtenues à partir de l'expérience. L'utilisation de l'IA est essentielle pour l'optimisation et les futurs travaux d'industrialisation (scale-up).

### **Valorisation —**

Conference:

1. Applied Energy Symposium: Low Carbon Cities and Urban Energy Systems (CUE 2023). Sept. 2-7, 2023. Matsue, Shimane – Japan.
2. The 1<sup>st</sup> International Conference on The Practical Zero Emissions Technologies and Strategies (PZETS 2023). Dec. 9-12, 2023. Ho Chi Minh City – Vietnam.

Journal publication:

- Bioenergy and bioexergy analyses with artificial intelligence application on combustion of recycled hardwood and softwood wastes via TGA. Applied Energy Journal. Impact factor: 11.20 (SCI, Q1). Status: Required Reviews Completed (5 March 2024)

### **Effet levier du projet —**

Collaboration avec Pr. WH Chen (HCR), National Cheng Kung University, Tainan, TAIWAN

Collaboration naissante avec National Research Center in Indonesia (BRIN)