

Etude des propriétés thermiques des écorces de pin maritime (*Pinus pinaster*), robinier (*Robinia pseudoacacia*) et de bouleau (*Betula sp.*)

GRINGAUZ Lizaveta, BERGERET Anne, FERRY Laurent, LACOSTE Clément

Polymers Composites and Hybrids (PCH), IMT Mines Ales, Ales, France

lizaveta.gringauz@mines-ales.fr

Mots clefs : écorces ; co-produits forestiers ; thermique ; subérine ; calorimétrie

Contexte et objectifs

Chaque année, l'industrie forestière génère de grandes quantités de co-produits issus de la filière bois. En France, la production annuelle d'écorces est estimée à environ 875 000 tonnes. Selon les données récentes du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (2023), la production de sciages en région Occitanie en 2022 était de 40 348 m³ pour les feuillus et 347 438 m³ pour les conifères, principalement représentés par le sapin-épicéa et le douglas. Malgré ce volume conséquent, les écorces restent majoritairement orientées vers des usages à faible valeur ajoutée (combustion pour l'énergie, paillage horticole) ou abandonnées sur les sites de sciage. Or, leur composition chimique, riche en extractibles, lignine et cendres (Harkin and Rowe 1971), ainsi que leur structure complexe, leur confèrent des propriétés physico-chimiques uniques. Ce profil particulier ouvre un potentiel de valorisation encore largement sous-exploité.

Du point de vue des propriétés thermiques des écorces, les travaux existants se concentrent surtout sur l'utilisation des écorces comme charges dans des matériaux composites. Deux études récentes, basées sur des analyses thermogravimétriques (ATG), illustrent des effets contrastés : l'incorporation de 15 % en masse d'écorce de bouleau dans une matrice d'urée-formaldéhyde améliore la stabilité thermique du composite en réduisant la perte de masse entre 250 et 350°C (Réh et al 2021), tandis que l'ajout d'écorce de pin dans une matrice de polyamide 6 abaisse au contraire la température de dégradation du matériau (Gama et al 2021). Ces résultats mettent en évidence que l'influence des écorces sur le comportement thermique dépend étroitement de la nature de l'écorce. Néanmoins, les données disponibles concernant les propriétés thermiques et le comportement au feu des écorces, seules ou intégrées dans des matériaux composites, sont limitées. Dans ce contexte, la présente étude vise à caractériser les écorces de différentes essences locales d'Occitanie et à explorer leur potentiel de valorisation en biomatériaux éco-conçus, en portant une attention particulière à leurs aptitudes thermiques.

Matériel et méthodes

Les premières analyses ont été réalisées sur de l'écorce commerciale de pin maritime (*Pinus pinaster*) (granulométrie : 10–25 mm, Jardiland, France) ainsi que sur des écorces de robinier (*Robinia pseudoacacia*) et de bouleau (*Betula sp.*) issues d'une propriété forestière privée (Gard, France). Les écorces ont été préalablement broyées pour obtenir une granulométrie fixée à 1 mm. L'étude de la stabilité thermique des écorces brutes a été effectuée à l'aide d'un analyseur thermogravimétrique TGA 800 (PerkinElmer, USA) sous atmosphère d'azote, avec une rampe de chauffage de 10°C min⁻¹ de 30°C jusqu'à 800°C. Ces mesures visent à caractériser le comportement thermique des écorces, et permettront de mieux maîtriser leurs conditions de mise en œuvre (température) dans les procédés utilisés pour la fabrication des matériaux (panneaux, composites). Le comportement à la combustion a été évalué à l'aide d'un

microcalorimètre de combustion PCFC (FAA Micro Calorimeter Fire Testing Technology, UK), en mesurant la chaleur dégagée lors de la combustion des gaz volatils produits par la pyrolyse du matériau. Le protocole consiste à chauffer l'échantillon sous atmosphère neutre (azote) jusqu'à 750°C, puis à oxyder les gaz issus de la pyrolyse dans une chambre de combustion à 900°C sous air (donc en présence d'oxygène).

Premiers résultats et discussion

Les résultats de l'ATG sont présentés en Fig. 1. Les courbes ne débutent pas toutes à 100%, en raison du palier isotherme appliqué au début du programme (5min à 100°C), qui entraîne une perte de masse liée à la teneur en eau. Les échantillons de robinier broyés à 1 mm présentent un comportement thermique similaire à celui du pin maritime, avec un pic de dégradation à 371,5°C et 381,6°C respectivement. En revanche, les écorces de bouleau montrent deux pics successifs de dégradation, à 369,1°C et 431,0°C, suggérant une dégradation en deux étapes en lien avec leur composition chimique. Ce dernier pic est attribué à la dégradation de la subérine (Shangguan et al 2018, Ghonjizade-Samani et al 2023). Le taux de « char » (résidu carboné résultant de la décomposition thermique du bois) formé est plus faible pour le bouleau (11,7%) que pour le pin maritime (28,1%) et le robinier (25,3%). Cette différence reflète principalement l'abondance de composés polyphénoliques dans le pin maritime et le robinier, dont les structures aromatiques condensées favorisent la formation d'un résidu carboné élevé.

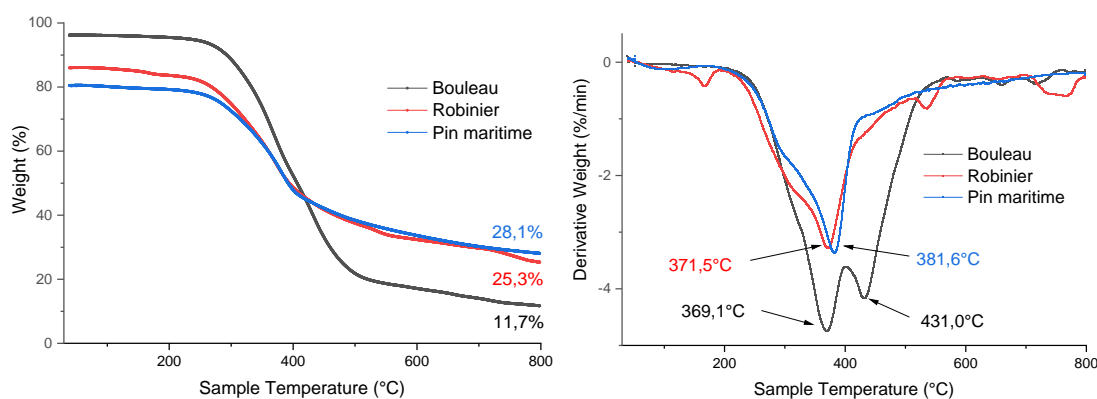


Fig. 1 : Courbes ATG et DTG d'écorce du pin maritime, bouleau et robinier

Les résultats du comportement à la combustion des écorces broyées de pin maritime, bouleau et robinier sont présentés en Tab. 1 et Fig. 2. L'écorce de bouleau présente deux pics de HRR (Heat Release Rate), à 377,3°C et 439,6°C, tandis que le pin maritime et le robinier présentent un seul maximum, à 372,8°C et 371,6°C respectivement. La valeur de Total Heat Release (THR) est la plus élevée pour le bouleau (22,6 kJ/g), indiquant qu'une quantité plus importante d'énergie est libérée lors de sa combustion, en lien avec son faible taux de char résiduel observé en ATG (11,7%). En revanche, le pin maritime et le robinier, qui présentent des taux de char plus élevés en ATG (28,1% et 25,3%, respectivement), libèrent moins d'énergie totale (THR = 6,0 kJ/g et 7,3 kJ/g). Cette corrélation souligne que les échantillons formant peu de char subissent une dégradation thermique quasi totale, produisant davantage de composés combustibles et, par conséquent, une plus grande chaleur dégagée. De plus, l'énergie effective de combustion (EHC), correspondant au rapport du THR sur la perte de masse, est plus importante chez le bouleau, ce qui suggère que les composés libérés (notamment la subérine) ont une plus forte énergie de combustion.

Tab. 1 : Résultats du test de comportement à la combustion (PCFC)

	HRR (W/g)	T (°C)	THR (kJ/g)	EHC (kJ/g)
Ecorce du bouleau	145,8 ; 146,6	377,3 ; 439,6	22,6	25,6
Ecorce du robinier	53,1	371,6	7,3	9,8
Ecorce du pin maritime	45,8	372,8	6,0	8,3

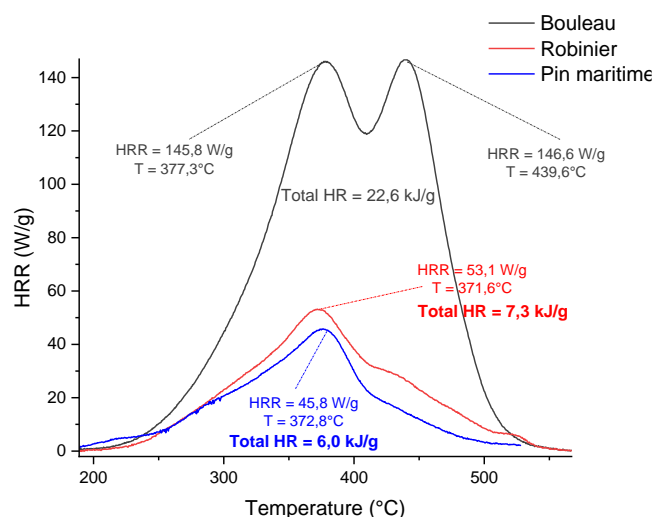


Fig. 2 : Courbes HRR en fonction de la température pour le bouleau, le robinier et le pin maritime

Conclusion et perspectives

Les écorces étudiées présentent des profils thermiques distincts, directement liés à leur composition chimique. Le bouleau se distingue par une dégradation en deux étapes, un faible taux de char et un THR élevé, indiquant une libération d'énergie importante et une dégradation quasi totale. Le pin maritime et le robinier produisent davantage de char, ce qui limite le THR et reflète une formation plus importante de résidu carboné. Ces résultats soulignent l'influence des constituants chimiques, notamment les polyphénols et la subérine, sur le comportement thermique des écorces. Il apparaît nécessaire de compléter ces travaux par des analyses de composition des écorces afin de préciser les relations entre celle-ci et les propriétés thermiques. Parallèlement, des formulations intégrant des écorces broyées dans des matrices polymères seront développées pour évaluer leur comportement thermique et mécanique, dans l'objectif de proposer des voies concrètes de valorisation de cette ressource encore peu exploitée.

Remerciements

Les auteurs remercient l'interprofession FIBOIS Occitanie pour l'analyse de la disponibilité et du sciage des écorces en Occitanie, ainsi que Jeannine Bourrely et Philippe Granier pour la collecte des échantillons d'écorce dans leurs propriétés forestières.

Références

- Gama N, Ferreira A, Barros-Timmons A, Evtuguin D (2021) Polyamide 6/modified pine bark particle composites for additive manufacturing, *Journal of Materials Science*, 56(34): 19093–19105.
- Ghonjizade-Samani F, Haurie L, Malet R, Realinho V (2023) The components' roles in thermal stability and flammability of cork powder, *Materials*, 16(10): 3829

Harkin JM, Rowe JW (1971) Bark and its possible uses, Forest Products Laboratory, U.S. Forest Service, Madison, 97 p.

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, Service de la statistique et de la prospective (2023) Récolte de bois et production de sciages en 2022. Agreste – Chiffres et données, 18, p. 1-8.

Réh R, Krišťák Ľ, Sedliačik J, Bekhta P, Božíková M, Kunecová D, Vozárová V, Tudor EM, Antov P, Savov V (2021) Utilization of birch bark as an eco-friendly filler in urea-formaldehyde adhesives for plywood manufacturing, *Polymers*, 13(4): 1–21.

Shangguan W, Chen Z, Zhao J, Song X (2018) Thermogravimetric analysis of cork and cork components from *Quercus variabilis*, *Wood Science and Technology*, 52(1): 181–192.