

Contribution de la porosimétrie au mercure et l'Analyse en Composante Principale à l'étude des similarités de comportement des bois au séchage et leur relation avec la microstructure

NOUEMSI SOUBGUI Epiphane^{1,2}, KAMSEU Elie¹, MAMBA MPELE², LIKIBY Boubakar¹, MOUTOU PITTI Rostand^{3,4}

¹Local Materials Promotion Authority / MINRESI, BP 2396 Yaoundé, Cameroon

²Laboratory of Civil Engineering and Mechanics, the National Advanced School of Engineering, the University of Yaoundé, Cameroun

³Université Clermont Auvergne, CNRS, Clermont Auvergne INP, Institut Pascal, Clermont-Ferrand

⁴CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon
nouemsisepiphane@gmail.com

Mots-clés : Séchage du bois ; Analyse en composante principale ; Microstructure ; Porosité ; Densité ; Bois tropicaux

Contexte et objectifs

Le séchage du bois est une étape essentielle pour garantir la stabilité dimensionnelle, la durabilité et la qualité des produits finis. Toutefois, les bois tropicaux, riches en diversité anatomique, présentent des comportements très variables face au séchage. Ces variations sont souvent liées à la microstructure du matériau, notamment la répartition et la taille des pores, ainsi qu'à sa densité (Perre et Keey 2014, Soubgui et al 2020).

Dans ce contexte, la présente étude vise à identifier les similarités de comportement au séchage entre différentes essences de bois en s'appuyant sur des paramètres microstructuraux. L'objectif est d'explorer la contribution de l'Analyse en Composante Principale (ACP) pour regrouper les essences selon des traits pertinents et mieux comprendre les relations entre porosité, structure poreuse et comportement hygrothermique. Ce regroupement en fonction de similarités de comportement apparaît pertinent car il permettrait une classification objective des essences afin de faciliter le choix de protocoles de séchage adaptés et de réduire les pertes économiques et techniques.

Matériel et Méthodes

Onze essences de bois issues de la région du Centre au Cameroun ont été étudiées. Les données collectées sont renseignées dans le Tab. 1. Pour les expérimentations, quatre échantillons ont été prélevés par essence. Chaque échantillon de dimension 20 × 30 × 70 mm (Fig. 1) a subi un séchage naturel sur une année afin de déterminer la cinétique de séchage, l'humidité résiduelle et la perte de masse et a fait l'objet d'une caractérisation microstructurale. La porosimétrie au mercure (MIP, Auto Pore IV 9500 V1.09, Micromeritics Instrument Corp.) a permis de mesurer la densité apparente, la porosité totale, les volumes de pores segmentés et leur répartition en quatre classes : micropores (< 80 nm), mésopores (80–500 nm), macropores (0,5–2 µm) et macropores > 2 µm. L'ACP a été utilisée afin de réduire la dimensionnalité des données tout en conservant l'information essentielle. Les variables microstructurales ont servi d'entrées pour l'analyse. Les calculs ont été effectués sous Minitab et les résultats visualisés à travers des plans factoriels et corrélations.



Fig. 1 : Specimens de bois étudiés

Espèces		Code d'identification	Densité apparente (g.cm ⁻³) (Ecart-type)	Porosité [%] (Ecart-type)	Macropores		Meso-pores 500 - 80nm	Micro-pores < 80nm
Nom scientifique	Nom commercial				>2 µm	2 – 0.5 µm		
<i>Triplochitonscleroxylon</i>	Ayous	AYS	0.348 (0.03)	72.5 (2.2)	16	9	74	1
<i>Ceibapentandra</i>	Fromager	FMG	0.281 (0.07)	72.6 (4.3)	29	52	19	0
<i>Eribromaoblonga</i>	Eyong	EYN	0.279 (0.02)	53.1 (4.2)	56	19	25	0
<i>Miliciaencelsa</i>	Iroko	IRK	0.563 (0.05)	55.9 (3.3)	13	8	42	37
<i>Pterocarpussoyauxii</i>	Padouk	PDK	0.537 (0.05)	57.5 (3.3)	14	11	73	2
<i>Mansoniaaltissima</i>	Bete	BTE	0.606 (0.07)	50.8 (4.4)	32	5	39	24
<i>Baillonellatoxisperma</i>	Moabi	MYB	0.895 (0.05)	33.7 (3.3)	15	17	46.5	21.5
<i>Millettialaurentii</i>	Wenge	WG	0.851 (0.04)	37.6 (2.8)	14	8	60	18
<i>Monopetalanthus</i>	Andoung	ADG	0.815 (0.05)	39.4 (3.1)	14	8	60	18
<i>Sterculiarhinopelata</i>	Lotofa	LTF	0.891 (0.01)	39.6 (0.5)	25	3	39	33
<i>Cylicodiscusgabonis</i>	Okan	OKN	0.980 (0.01)	33.7 (0.5)	42	4	18	36

Résultats et discussion

Les caractéristiques microstructurales des essences étudiées ont permis, à travers l'Analyse en Composantes Principales (ACP), d'identifier les similarités de comportement. Le plan factoriel issu de l'ACP (Fig. 2) montre que la porosité totale et les macropores sont fortement corrélés à la première composante (PC1), tandis que la densité et les micropores (< 80 nm) s'y opposent.

La projection des essences de bois sur le plan défini par PC1 et PC2 (Fig. 3) a permis d'identifier cinq familles distinctes : F1 (Padouk, Ayous), F2 (Eyong, Fromager), F3 (Moabi, Iroko, Wengé), F4 (Lotofa, Andoung, Bété), et F5 (Okan). Ce regroupement montre que des essences présentant une microstructure similaire partagent aussi des comportements proches vis-à-vis du séchage. L'appartenance du Moabi, de l'Iroko et du Wengé à une même famille confirme les observations antérieures du CTBA concernant leur regroupement dans une table de séchage commune. L'Okan, en revanche, se distingue par sa combinaison atypique de micropores et de macropores > 2 µm, traduisant un comportement singulier nécessitant des protocoles spécifiques. Les quantités importantes de micropores et de macropores de taille supérieure à 2

μm , pourraient ainsi suggérer un temps de pré-séchage assez court et un temps de séchage plus long.

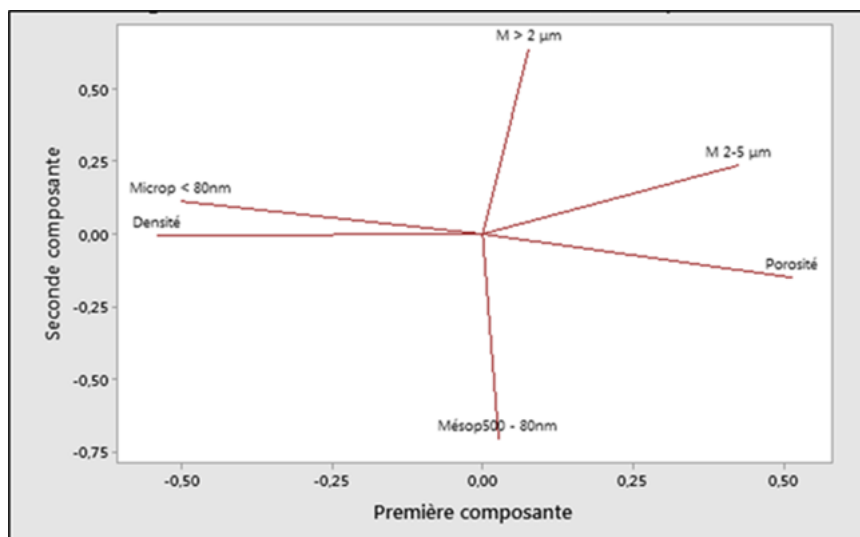
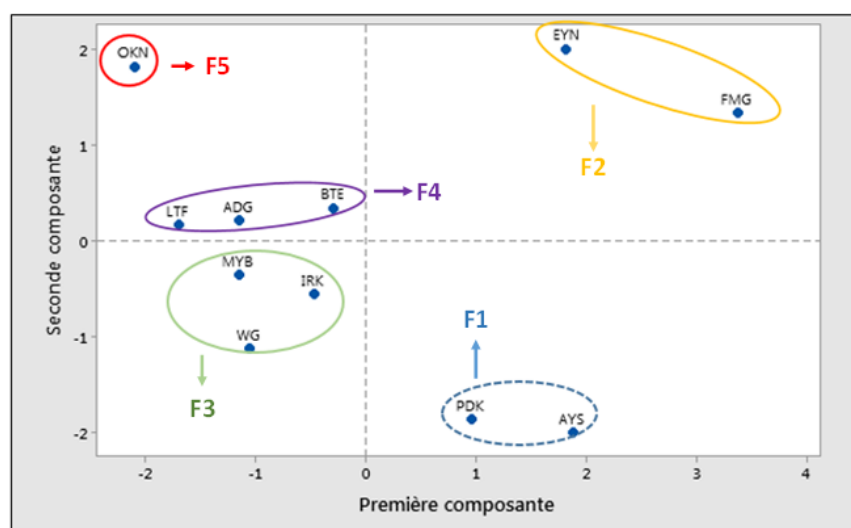


Fig. 2 : Corrélations entre les variables microstructurales et les deux premières composantes principales (ACP).



Famille d'essences

F1 Padouk, Ayous

F2 Eyong, Fromager

F3 Moabi, Iroko,
Wengé

F4 Lotofa, Andoung,
Bété

F5 Okan

Fig. 3 : Projection des essences sur le plan factoriel (PC1-PC2) et regroupement en cinq familles (F1-F5).

Deux relations significatives ont été confirmées (Fig. 4) : une corrélation positive entre la densité et la proportion de micropores ($r \approx 0,71$), et une corrélation négative entre la porosité totale et la proportion de micropores ($r \approx -0,68$). Ces résultats indiquent que la structure poreuse est déterminante dans le comportement au séchage.

Conclusion

L'Analyse en composante principale s'est révélée pertinente pour différencier les comportements de séchage des bois tropicaux. En combinant les données de porosité, de répartition des tailles de pores et de densité, cinq familles d'essences ont pu être identifiées. Cette classification propose une base objective pour une meilleure anticipation des contraintes de séchage, et pour adapter les protocoles industriels en conséquence. Cette approche ouvre la voie à une meilleure anticipation des contraintes de séchage, l'adaptation des protocoles industriels et le développement de modèles prédictifs basés sur la microstructure. Des

validations complémentaires en conditions industrielles seraient toutefois nécessaires pour consolider cette classification.

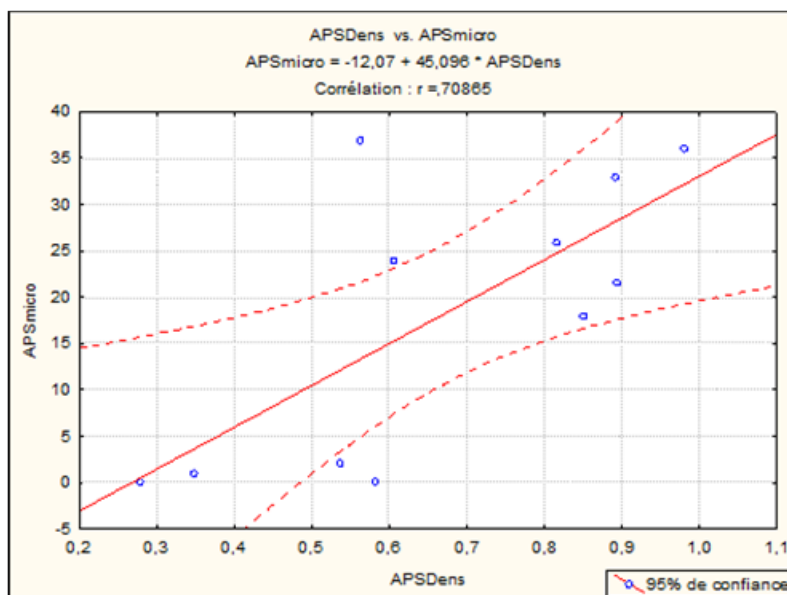


Fig. 4 : Corrélations entre densité et micropores

Remerciements

Les auteurs remercient M. KENMEUGNI Dieudonné pour sa contribution lors de la collecte des échantillons.

Références

Granato D, Jânio S., Santos JS, Escher GB, Ferreira BL, Maggio RM (2018). Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective, *Trends in Food Science & Technology*, 72:83-90.

Soubgui Nouemsi E, Tene Fongang RT, Kamseu E, Oum Lissouck R, Andreola F, Boubakar L, Rossignol S, Leonelli C. (2020). Microstructure and physico-chemical transformation of some common woods from Cameroon during drying. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 145, 3003–3018. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09890-7>

Soubgui Nouemsi E, Zenabou NMN, Bidoung JC, Kamseu E (2021) Dependence of the insulating behavior of some common woods to the pore network and packing density of their fibers : a microstructural approach. *Transport in Porous Media*, 138:309–336. <https://doi.org/10.1007/s11242-021-01610-5>

Perré P, Keey RB (2014) Drying of Wood: Principles and Practices (Chapitre 36). In *Drying: Principles and Practice*. B Taylor & Francis Group, LLC.