

Utilisation de la spectroscopie proche infrarouge pour la prédiction de la densité de 3 essences de bois ivoiriennes.

Digbé Thomas¹, Niamké Bobelé Florence¹, Bley-atse Bley Appolinaire¹, Ramananantoandro Tahiana², Tieoulé Fabrice⁴, Guibal Daniel³, Langbour Patrick³, Gelhaye Eric⁵, Thevenon M-France³, Chaix Gilles^{6,7}, Adima Amissa Augustin¹, Amusant Nadine⁸

¹LAPISEN, INP-HB, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire ²Université 'Antananarivo, ESSA Forêts, Madagascar ³biowoeb, CIRAD, France, ⁴SODEFOR Côte d'Ivoire, ⁵UMR IAM INRA, Nancy, France, ⁶ CIRAD, UMR AGAP Institut, F-34398 Montpellier, France, ⁷UMR AGAP Institut, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, F-34398 Montpellier, France, ⁸UMR ECOFOG, CIRAD, Guyane, France

Email : digbeespoir@gmail.com

Mots clefs : densité du bois, proche infrarouge, spectroscopie, essences ivoiriennes

Contexte et Objectifs

Compte tenu de la croissance démographique en Côte d'Ivoire, les besoins de logements deviennent de plus en plus préoccupants (Kouamé Hyacinthe., 2020). La réponse à ce besoin de logements va générer à l'avenir des besoins énormes en matériaux de construction parmi lesquels le bois occupera une place importante. Par ailleurs, dans le contexte de développement durable, le bois s'impose progressivement comme un matériau de construction écologique, renouvelable et pourvoyeur d'une meilleure qualité de vie (Lenglet et Caurla 2020). Cependant, les bois utilisés dans le domaine de la construction doivent présenter des caractéristiques physiques et mécaniques satisfaisantes (bonne durabilité, bonne densité, faible rétractibilité, bonne rigidité...). Aussi, l'hétérogénéité du bois peut être un frein à son utilisation dans la construction (Mothe et al. 1990). La connaissance des propriétés du bois est donc un préalable indispensable à toute tentative de valorisation. Toutefois, l'étude des propriétés du bois nécessite un large échantillonnage dont la mise en place des essais au laboratoire est chronophage et couteuse. Afin de contribuer à une meilleure valorisation des essences ivoiriennes par une connaissance plus large de leurs propriétés, ce travail consiste à élaborer des modèles prédictifs en spectroscopie proche infrarouge permettant d'évaluer rapidement les propriétés biologiques, physiques et mécaniques de 3 essences ivoiriennes.

I. Matériel et méthodes

L'étude porte sur 3 essences à savoir *Milicia excelsa* (Iroko), *Mansonia altissima* (Bété), *Nauclea Diderrichii* (Badi). Trois arbres par espèce ont été prélevés en forêt. Sur chaque arbre, une bille de 1,3 m de longueur a été prélevée à partir de 1,3 m du sol. Pour chaque bille, 2 planches transversales de 4 cm d'épaisseur (noté A et B) ont été débitées. Les planches A et B ont été destinées respectivement aux essais physico-mécaniques et aux essais de durabilité

naturelle. Ainsi 144 éprouvettes destinées aux mesures physiques et 72 éprouvettes pour les mesures mécaniques ont été débitées dans l'aubier, dans le duramen externe, dans le duramen intermédiaire et dans le duramen interne de la planche A, selon la norme NF B51-007 (1985). De même, 266 éprouvettes de durabilité naturelle ont été débitées dans l'aubier, dans le duramen externe, et dans le duramen interne de la planche B selon la norme CEN/TS-15083-1.

➤ Acquisition des spectres (SPIR)

Après la confection des éprouvettes, des spectres dans le proche infrarouge (SPIR) (2 spectres par éprouvette) ont été acquis sur la face radiale de chaque éprouvette stabilisée au préalable à 12% d'humidité. Les spectres ont été acquis en réflectance diffuse à l'aide d'un spectromètre microNIR développé par (Viavi Solution–Milpitas, CA, USA). Cette acquisition a été réalisée sur la gamme de 900 à 1700 nm et chaque spectre est obtenu avec une moyenne de 100 scans.

I.1.3 Analyse des échantillons par les méthodes de références

➤ Etudes des propriétés mécaniques

La contrainte de rupture en compression axiale, et la flexion axiale ont été effectuées respectivement selon la norme NF B51-007 (1985) et la norme NF B51-008. La mesure du module d'élasticité est effectuée à l'aide de la méthode vibratoire appelée Bing (Beam Identification by Nondestructive Grading) telle que décrite par Segla *et al.* (2016).

➤ Etudes des propriétés physiques

Les éprouvettes ont été saturées par trempage dans l'eau distillée pendant environ 48 heures. Les éprouvettes ainsi saturées ont été pesées à l'aide d'une balance électronique. Les dimensions suivant les directions R et T à l'état saturé ont été mesurées. Le volume saturé a été mesuré sur une balance selon le principe d'Archimède. Les éprouvettes sont ensuite placées dans une enceinte climatique réglée en température et humidité relative de l'air respectivement sur 30°C - 85% Hr ; 20°C – 65% Hr ; 20°C – 30% Hr pour être ramenées successivement à une humidité du bois théorique respective de 18%, 12%, 6%. Les dimensions et la masse des éprouvettes sont mesurées respectivement à 18%, 12%, 6 % et 0%. Après cette série de stabilisation ; l'infra-densité (ID) ; l'anisotropie du bois ; le retrait radial (Rr) ; le retrait tangentiel (Rt), et le retrait surfacique (Rs), ont été déterminés selon la norme B.51.020.13.

II. Résultats et discussion

➤ Prétraitement et Analyse en Composantes Principales (ACP)

Les données spectrales brutes (**Fig 1**) sont constituées d'informations chimiques, physiques et de bruits liés au mode de mesure et à l'électronique. Avant d'appliquer les méthodes chimiométriques, des prétraitements spectraux ont été utilisés pour améliorer le signal et corriger les effets de la diffusion de la lumière (**Fig 1**). L'ACP réalisée sur les spectres traités permet de distinguer les spectres de chacune des espèces et dans certains cas discriminer les types de plans ligneux. Contrairement à l'Iroko et au Bété, les spectres du Badi sont beaucoup plus homogènes (**Fig 2**). L'analyse statistique des données obtenues au laboratoire confirme cette observation (résultats en cours de publication).

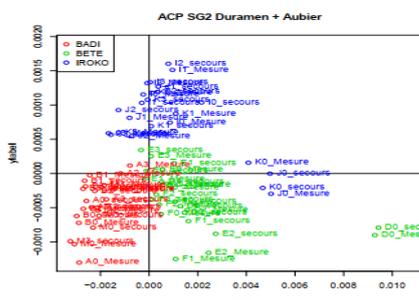
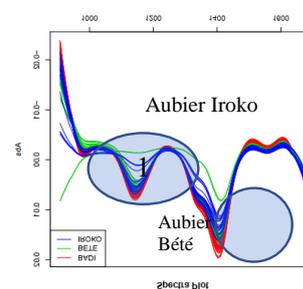
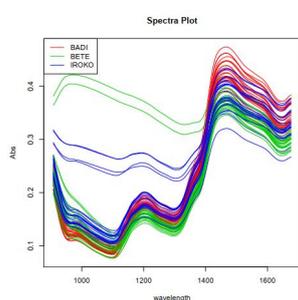


Fig 1 : Lissage des spectres par l'algorithme de Savitsky-Golay

Fig 3: ACP

➤ Etablissement des modèles

Les spectres ont été divisés en deux sous-ensembles (étalonnage et validation) en les ordonnant au préalable selon la valeur à prédire. Le jeu d'étalonnage est constitué de 3/4 des échantillons (108 échantillons) sur lesquels les modèles prédictifs ont été établis. Le jeu de validation qui permet de valider les performances du modèle sur des données non connues par le modèle est constitué des 1/4 des échantillons (soit 36 échantillons). La régression PLS (Partial Least Squares régression ou Projection to latent Structures) a été utilisée pour décrire la relation entre les données spectrales NIR et les données de laboratoire. Le meilleur prétraitement des spectres est obtenu en comparant les performances de chaque prétraitement en validation croisée répétée (le coefficient de détermination R^2_{cv} , la somme des carrés des

erreurs résiduelles de prédiction en validation croisée RMSECV et le nombre de variable latente). Ensuite, le modèle est appliqué sur les spectres du jeu de validation et l'on compare les valeurs mesurées en laboratoire et les valeurs prédites en tenant compte de l'erreur de la prédiction (RMSEP), du rapport entre la variabilité de l'échantillon et la précision du modèle (RPD) et du R² de la prédiction. Pour la quasi-totalité des propriétés physiques, les valeurs obtenues pour ces paramètres valident la possibilité de prédire les propriétés physiques **tableau 1** (seules les propriétés les mieux prédites sont présentés). Ces résultats sont comparables à ceux trouvés dans la littérature (Segla *et al.*, 2017). En revanche, cette approche ne s'est pas révélée pertinente pour prédire les propriétés mécaniques et pour la durabilité naturelle du bois.

Tableau 1 : caractéristique des modèles de la régressions PLS

| Variables étudiées | Prétraitements | LVs | RMSECV | R ² _{cv} | RMSEP | R ² | RPD |
|---------------------------|--|-----|--------|------------------------------|-------|----------------|------|
| Infradensité | Lissage par Savitsky-Golay | 8 | 0,028 | 0,80 | 0,029 | 0,81 | 2,54 |
| Retrait surfacique | lissage par Savitsky-Golay Sans | 15 | 0,502 | 0,90 | 0,472 | 0,92 | 3,5 |
| Retrait T | prétraitement lissage par Savitsky-Golay | 11 | 0,436 | 0,88 | 0,436 | 0,876 | 2,85 |
| Retrait R | Savitsky-Golay | 14 | 0,382 | 0,73 | 0,399 | 0,684 | 1,81 |
| PSF | detrend | 9 | 0,86 | 0,851 | 0,872 | 0,847 | 2,59 |

Conclusion

L'objectif de ce travail était de mettre en évidence la potentialité du proche infrarouge à prédire les propriétés physiques, mécaniques et biologiques de 3 essences ivoiriennes à partir d'un seul modèle. La prédiction des propriétés physiques s'est révélée la plus pertinente. Notre prochain objectif sera d'étendre cette étude à la chimie du bois.

Références

- Kouamé Hyacinthe, Konan. 2020. « Revue KAFOUDAL N°6 Juin 2020 », juin.
- Lenglet, Jonathan, et Sylvain Caurla. 2020. « Territorialisation et écologisation dans la filière forêt-bois française : une rencontre fortuite ? » *Développement durable et territoires*, n° Vol. 11, n°1 (avril). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.16645>.

10^{es} journées du GDR 3544 « Sciences du bois » - Montpellier, 17-19 novembre 2021

- Mothe, F, B Chanson, B Thibaut, G Martin, et P Mourgues. 1990. « Étude du retrait en liaison avec la structure. I. Variation radiale des retraits longitudinal et tangentiel sur des placages déroulés de douglas ». *Annales des Sciences Forestières* 47 (4): 331- 44. <https://doi.org/10.1051/forest:19900405>.
- Segla, Kossi Novinyo, Habou Rabiou, Kossi Adjonou, Daniel Guibal, André Babou Bationo, Ali Mahamane, Kouami Kokou, Patrick Langbour, Adzo Dzifa Kokutse, et Gilles CHaix. 2017. « Useful near Infrared Spectroscopy Model Calibrations on Solid Wood Samples of *Pterocarpus Erinaceus* (Poir.) for Physical, Mechanical and Colour Properties ». *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 25 (4): 256- 66. <https://doi.org/10.1177/0967033517719376>.