

12e Journées Scientifiques
Limoges 22-24 novembre 2023

GDR *La durabilité, c'est tout
à la fois notre passé et
notre futur*
SCIENCES DU BOIS

LABCiS UM 12722
Laboratoire des Agroressources, Biomolécules
et Chimie pour l'Innovation en Santé



GDR Groupement
de recherche
Sciences du bois

Actes

Coordination et édition: Eric Badel (PIAF), Joseph Gril (Institut
Pascal), Guy Costa (LABCiS)

Utilisation de la spectroscopie proche-infrarouge portable sur terrain pour l'identification des bois précieux de Madagascar et de ses potentiels bois de substitution en vue de leurs gestions durables

RANDRIAMBININTSOA Tiavina¹, RASOAMANANA Lalaina Patricia¹, CHAIX Gilles²,
RAMANANANTOANDRO Tahiana¹

¹Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Mention
Foresterie et Environnement, Antananarivo 101, Madagascar

²UMR AGAP Institut, Université de Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier,
France

randriambinintsoat@gmail.com

Mots clefs : spectrométrie proche infrarouge ; portable ; terrain ; discrimination ; bois précieux ; bois de substitutions ; Madagascar.

Contexte et objectifs

Les bois précieux de Madagascar appartenant aux genres *Dalbergia* et *Diospyros*, constituent une catégorie de produits ligneux très appréciés et fortement commercialisés en raison de diverses qualités intrinsèques intéressantes dont principalement la densité, la faible porosité, la durabilité et la couleur (Schuurman et Lowry 2009, Randriamalala et al. 2010, Barret et al. 2010, Ramananantoandro et al. 2013, Degen et al. 2013). Une recrudescence importante de leur exploitation illicite a été rencontrée ces dernières années malgré maintes balises réglementaires mises en place. En effet, le commerce illégal de ces bois précieux s'est poursuivi sans relâche, car les permis sont fréquemment falsifiés pour indiquer que le bois expédié a une origine différente ou identifié sous un faux nom afin d'éviter les difficultés aux points de contrôle dans les ports de transfert (Hassold et al. 2016). Il est alors difficile d'appliquer les réglementations CITES et d'instaurer un Avis de Commerce Non Préjudiciable en vue de la gestion durable de ces ressources en bois précieux de Madagascar sans un outil d'aide pour permettre leurs identifications. Il est alors primordial pour les services forestiers d'avoir la capacité d'identifier les espèces exploitées pour vérifier si ce sont des espèces autorisées à l'exploitation, en sortie de forêt, durant le transport, lors de la vente et/ou avant l'exportation.

Des études ont déjà été faites avec l'utilisation de la SPIR dans des conditions en laboratoire dans le but d'identifier les essences de bois précieux à partir de spectre de bois uniquement. Les résultats obtenus ont été très prometteurs, avec l'utilisation du DLP® NIRscan™ Nano (Texas instruments Inc., Texas, USA). En vue de pouvoir utiliser la SPIR sur le terrain, l'équipe a travaillé sur un autre spectromètre portatif similaire au NanoNIR qui est l'innospectra NIR-S-G1, car ce spectromètre reflète plus nos attentes en vue de l'utilisation de la SPIR en tant qu'outil portable sur terrain. En effet, l'innospectra est doté d'une connexion Bluetooth et peut par conséquent être utilisé directement avec un smartphone (sans besoin de câble ni d'ordinateur). Il possède aussi une coque externe assurant sa protection.

Des micro-carottes de bois appartenant aux genres *Dalbergia* et *Diospyros* et à 6 autres espèces de substitutions potentielles ont été prélevées dans les forêts malgaches. En premier lieu, des spectres des échantillons ont été mesurés avec le NanoNIR. En deuxième lieu, des modèles de discrimination SPIR ont été étalonnés à partir des spectres d'absorbance mesurés sur les échantillons. En troisième lieu, les modèles ont été embarqués dans des smartphones Android

afin de pouvoir les utiliser directement en terrain (dans des conditions hors laboratoire) avec l'Innospectra NIR-SG1.

Matériels et méthode

Appareils de mesure

Pour cette étude, un appareil portable a été utilisé pour la mesure de spectres sur les micro-carottes de bois : le DLP® NIRscan™ Nano (Texas instruments Inc., Texas, USA, Fig. 1). En fait, l'équipe avait travaillé sur un autre spectromètre portable auparavant qui est le Viavi MicroNIR 1700ES (Viavi Solutions, Milpitas, CA, USA). Mais la comparaison entre le MicroNIR et le NanoNIR a montré des potentialités égales entre les deux appareils alors que le NanoNIR est moins coûteux.

Pour l'utilisation sur le terrain, un appareil portable similaire au précédent, qui peut être couplé par Bluetooth avec un smartphone, a été utilisé : le micro NIR spectrometer (NIR-S-G1 ; InnoSpectra Corporation, Taiwan, China, Fig. 2).



Fig. 1 : DLP® NIRscan™ Nano (Texas instruments Inc., Texas, USA)

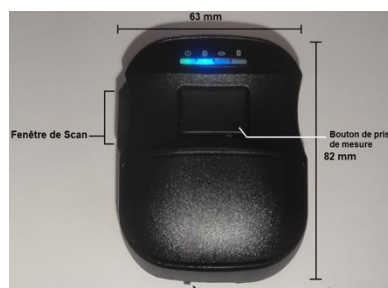


Fig. 2 : micro NIR spectrometer (NIR-S-G1; InnoSpectra Corporation, Taiwan, China).

Les deux appareils couvrent une longueur d'onde de 900 à 1700 nm (Fig. 3).

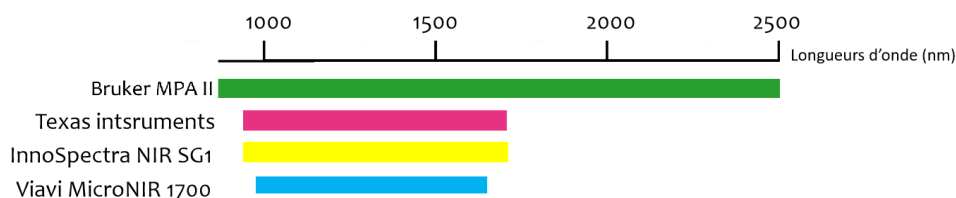


Fig. 3 : longueurs d'onde couvertes selon le capteur de chaque spectromètre

Echantillons d'étude

L'étude s'est focalisée sur des microcarottes de bois : 99 *Dalbergia* ; 107 *Diospyros* et 103 bois de substitutions. Et aussi sur deux régions de Madagascar bien précises : la région MaMaBaie (Makira – Masoala - Baie d'Antongil, Tab. 1) au nord-est de Madagascar et la région Menabe (Tab. 2) dans le sud-ouest de l'île.

Méthodologie

Afin de considérer et pouvoir traiter les facteurs liés à l'humidité du bois, les échantillons de micro-carottes ont été conditionnés sous différents états d'humidité : d'abord à 12% puis à 20% dans une enceinte climatique. Par la suite, comme l'enceinte climatique dont nous disposons au laboratoire ne pouvait pas aller au-delà de 20% d'humidité, on a opté pour l'immersion des échantillons dans de l'eau distillée pendant un certain nombre de jours. 2 états d'humidité ont été considérés. Un état directement après l'immersion et un autre 7 heures après séchage de l'échantillon à l'air libre. Le NanoNIR Texas a été ensuite utilisé afin de mesurer 6 spectres d'absorbances sur la partie duramen de chaque échantillon stabilisé.

Au total, 7 modèles de discrimination ont ensuite été étalonnés avec les échantillons à 12% d'humidité sur le logiciel RStudio en utilisant l'algorithme PLS-DA du package rchemo. La correction EPO (« External Parameter Orthogonalisation ») a été ensuite utilisée pour corriger les modèles et les rendre plus robuste face à la variation de l'humidité des bois, reflétant les conditions réelles rencontrées sur terrain où l'humidité est un facteur d'influence non contrôlable. Le premier modèle est étalonné pour pouvoir identifier à quel genre appartient ou appartiennent le(s) spectre(s) mesuré(s). Les 6 autres modèles (3 modèles par région) seront lancés en fonction du résultat d'identification du premier modèle. Autrement dit : le modèle qui va identifier l'espèce dans le genre *Dalbergia* (modèle 1) ou *Diospyros* (modèle 2) ou substitution (modèle 3) sera lancé suivant le résultat du premier modèle et suivant le choix de la région (Mamabaie ou Menabe).

Tab. 1 : effectifs des micro carottes utilisées et regroupées selon l'espèce (région Menabe)

| Genres | <i>Dalbergia</i> | | | | <i>Diospyros</i> | | | | | | Autres (substitutions) | | |
|-------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Espèces | <i>lemurica</i> | <i>greveana</i> | <i>chlorocarpa</i> | <i>chermezonii</i> | <i>aculeata</i> | <i>humbertiana</i> | <i>mapingo</i> | <i>pervilleana</i> | <i>platycalyx</i> | <i>torquata</i> | <i>Neobeguea_mahafaliensis</i> | <i>Tetrapteroca rpone_geayi</i> | <i>Cordyla_madagascariensis</i> |
| Nb d'échantillons | 14 | 26 | 11 | 8 | 16 | 9 | 16 | 9 | 17 | 9 | 20 | 22 | 19 |

Tab.2 : effectifs des micro carottes utilisées et regroupées selon l'espèce (région Mamabaie)

| Genres | <i>Dalbergia</i> | | | <i>Diospyros</i> | | | Autres (substitutions) | | |
|-------------------|------------------|---------------------------------------|--|--------------------|--------------------|------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Espèces | <i>baronii</i> | <i>Madagascariensis antongilensis</i> | <i>Madagascariensis madagascariensis</i> | <i>clusiifolia</i> | <i>haplostylis</i> | <i>toxicaria</i> | <i>Intsia_bijuga</i> | <i>Mimusops masoalensis</i> | <i>Uapacca thourarsii</i> |
| Nb d'échantillons | 18 | 13 | 9 | 11 | 12 | 7 | 17 | 10 | 17 |

Ces modèles, sous forme de scripts R, ont été embarqués dans des smartphones en recherchant le moyen le plus simple compatible avec un système Android. Les scripts R sont des lignes de codes développées sur ordinateur avec le logiciel de traitement de données statistiques RStudio. Nous avons opté pour UserLand (un émulateur linux) afin de permettre l'intégration, dans les smartphones, des lignes de code de R de l'ordinateur. Une application par défaut ISCNIRScan (disponible sur Google Playstore) permet de commander le spectromètre NIR-SG1 par Bluetooth via un smartphone Android et de mesurer des spectres sur un échantillon. Les modèles qui ont été embarqués dans les smartphones sont ensuite lancés via l'émulateur UserLand pour déterminer d'abord le genre puis l'espèce auxquelles appartiennent ce(s) spectre(s) mesuré(s). Toutes ces étapes ont été résumées dans une seule application Android dont la conception a respecté la simplicité et la rapidité pour que les agents de contrôles puissent vraiment utiliser la SPIR de la manière la plus efficace sur le terrain.

Résultats et discussions

La performance des modèles étalonnés à partir des 6 spectres d'absorbance mesurés sur les micro carottes de bois est démontrée avec les résultats des Tabs. 3 et 4.

Tab.3 : performances de la SPIR pour l'identification des bois (région Menabe)

| | <i>Dalbergia</i> | <i>Diospyros</i> | Autres (substitution) |
|---------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| Nombre d'espèces / d'échantillons | 4 / 59 | 6 / 50 | 3 / 61 |
| Prétraitements/dimension des modèles | Savgol1-snv/26 VD | Savgol / 11 VD | Savgol / 15 VD |
| Pourcentage de bien classés avant EPO | 45,14 | 47,23 | 98,4 |
| Valeur de k | 16 | 7 | 8 |
| Pourcentage de bien classés après EPO | 48,27 | 62,5 | 96,6 |

Tab.4 : performances de la SPIR pour l'identification des bois (région Mamabaie)

| | <i>Dalbergia</i> | <i>Diospyros</i> | Autres (substitution) |
|---------------------------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| Nombre d'espèces / d'échantillons | 3 / 40 | 3 / 30 | 3 / 44 |
| Prétraitements/dimension des modèles | Savgol / 15 VD | Savgol1 / 10 VD | Savgol2-Snv / 10 VD |
| Pourcentage de bien classés | 43,89 | 58,92 | 91,7 |
| Valeur de k | 11 | 7 | 5 |
| Pourcentage de bien classés après EPO | 38,34 | 54,04 | 95 |

Légendes :

- Savgol1-snv : prétraitement des spectres par lissage et première dérivée de Savitzky Golay suivi d'un prétraitement par "Standard Normal Variate »
- Savgol : prétraitement des spectres par lissage et sans dérivation de Savitzky Golay
- VD : nombre de variable discriminante reflétant la dimension du modèle
- k : dimensions de perturbations à retirer par EPO
- EPO : « External Parameters Orthogonalization »

Les modèles étalonnés arrivent difficilement à identifier les micro carottes appartenant aux genres *Dalbergia* et *Diospyros*. Tandis que pour les espèces de substitutions, les modèles arrivent à bien les discriminer à plus de 90% de bien classé. Ceci peut surtout être expliqué par le fait que les bois de substitutions étudiés ici appartiennent à des genres différents : *Cordyla madagascariensis*, *Neobeguea mahafaliensis*, *Tetrapterocarpon geayi* (pour la région Menabe) et *Intsia bijuga*, *Mimusops masoalensis*, *Uapaca thouarsii* (pour la région Mamabaie).

Les modèles embarqués dans le smartphone peuvent par la suite être directement utilisés avec l'innospectra connecté par Bluetooth pour des identifications.

Conclusion et perspectives

Les modèles étalonnés en laboratoire sont portables grâce à l'évolution des spectromètres qui peuvent actuellement être connectés par Bluetooth. En effet, au lieu d'utiliser des spectromètres nécessitant d'être reliés avec un câble sur un ordinateur, les smartphones peuvent aujourd'hui être sollicités car il est possible d'y embarquer les modèles d'identifications et d'utiliser des spectromètres par connexion Bluetooth (Fig. 4). Comme le but principal de l'étude est de pouvoir directement utiliser la méthode de discrimination des espèces sur terrain, d'autres paramètres méritent d'être considérés comme le transfert d'étalonnage entre les deux spectromètres, ainsi que l'influence de la forme des échantillons.

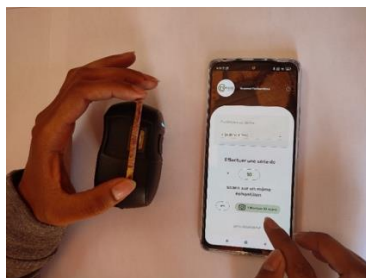


Fig. 4 : utilisation des modèles de discrimination à partir d'un smartphone et d'un spectromètre portable innospectra

Remerciements

Vifs remerciements aux équipes de recherche au sein desquelles se déroulent cette étude : Laboratoire des Sciences du bois (Mention Foresterie et Environnement, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ; Université d'Antananarivo - Madagascar) ; Plateforme d'histocytologie et d'imagerie cellulaire végétale PHIV (UMR Agap et BPMP) ; Plateau de phénotypage biochimique PPB (UMR Agap), Montpellier, France. La thèse de doctorat de L.P. Rasoamanana est financée par le projet FID2D (Field Identification tool for *Dalbergia*, *Diospyros* and six substitute species) qui est financé l'USAID (United States Agency for International Development) à travers le WRI (World resources Institute) et le projet Hay Tao, et par l'OWSD (Organization for Women in Science for the Developing World). Cette étude est rendue possible grâce au soutien du peuple américain par l'intermédiaire de l'USAID et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'USAID ou du gouvernement des États-Unis.

Références

- Barrett MA, Brown JL, Morikawa MK, Labat J-N, Yoder AD (2010) CITES designation for endangered rosewood in Madagascar. *Science*, 328:1109–1110. pmid:20508116
- Degen B, Ward SE, Lemes MR, Navarro C, Cavers S, Sebbenn AM (2013) Verifying the geographic origin of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) with DNA-fingerprints. *Forensic Sci Int Genet*, 7:55–62. pmid:22770645
- Hassold S, Lowry PP II, Bauert MR, Razafintsalama A, Ramamonjisoa L, Widmer A (2016) DNA Barcoding of Malagasy Rosewoods: Towards a Molecular Identification of CITES-Listed *Dalbergia* Species. *PLoS ONE*, 11(6) : e0157881. doi : 10.1371/journal.pone.0157881
- Ramananantoandro T, Ramanakoto MF, Rajemison AH, Eyma F (2013). Relationship between density and aesthetic attributes of wood and preference of Malagasy consumers. *Annals of Forest Science*, 70:649–658.
- Randriamalala HF, Liu Z (2010). Rosewood of Madagascar: Between democracy and conservation. *Madag Conserv Dev*, 5: 11–22.
- Schuurman D, Lowry PP (2009) The Madagascar rosewood massacre. *Madag Conserv Dev*, 4: 98–102.