

## **Evaluation des potentialités d'un spectromètre portable low cost NanoNIR comparé à un spectromètre micro NIR pour la discrimination de trois espèces de *Dalbergia* de Madagascar**

RASOAMANANA Lalaina Patricia<sup>1</sup>, RANDRIAMBININTSOA Tiavina<sup>1</sup>, CHAIX Gilles<sup>2,3</sup>, RAZAFIMAHATRATRA Andriambelo Radonirina<sup>1</sup>, RAMANANANTOANDRO Tahiana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Antananarivo  
101, Madagascar

<sup>2</sup>CIRAD - UMR AGAP, Montpellier, France

<sup>3</sup>AGAP, Univ Montpellier, CIRAD, INRA, Institut Agro, Montpellier, France  
[patriciarasoamanana@gmail.com](mailto:patriciarasoamanana@gmail.com)

**Mots clefs :** *Dalbergia* ; Spectrométrie Proche InfraRouge ; Nanospectromètre, MicroNir ; PLSDA

### **Contexte et objectif**

Les bois précieux de Madagascar appartiennent aux genres *Dalbergia* (Fabaceae) et *Diospyros* (Ebenaceae). Ils constituent une catégorie de produits ligneux commercialisés et sont « très appréciés en raison de diverses qualités intrinsèques intéressantes. La combinaison de qualités intrinsèques et de la rareté entraîne généralement des prix de vente plus élevés que pour les autres catégories ou types de bois. » (Jenkins et al. 2012). Au cours des 20 dernières années, l'exploitation illégale des bois précieux est devenue un problème récurrent à Madagascar, menaçant gravement ses écosystèmes et sa biodiversité exceptionnelle. Afin d'assurer la gestion durable de ces ressources le genre *Dalbergia* et *Diospyros* de Madagascar ont été inscrits dans l'annexe II de la CITES en 2016. Malheureusement, ces balises réglementaires n'arrivent pas à endiguer l'exploitation illicite de ces ressources. L'identification des espèces constitue un des points clés dans la gestion de ces espèces précieuses mais les capacités sont limitées. Plusieurs méthodes d'identification ont été développés au cours des dernières années dont la Spectroscopie Proche Infrarouge (SPIR) (Tsuchikawa et al. 2003, Tsuchikawa et Kobori 2015, Snel et al. 2018).

La SPIR rentre dans la catégorie de la spectroscopie vibrationnelle. Elle a été reconnue comme une des méthodes non destructives performantes pour l'évaluation des propriétés du bois et la discrimination d'espèces (Tsuchikawa et al. 2003, Tsuchikawa et Kobori 2015). Par rapport aux méthodes de mesure utilisées en laboratoire, comme les mesures de densité et l'analyse microscopique nécessitant de détruire les échantillons, elle permet une analyse rapide et multiple, à faible coût, et ne nécessite pas de grande préparation des échantillons, après l'élaboration d'un modèle basé sur un étalonnage. Il existe différents modèles de spectromètre proche infrarouge (PIR), caractérisés par des gammes et résolutions spectrales de tailles différentes. Les spectromètres de laboratoires comme le Bruker MPA couvrent la totalité de la région PIR et la résolution est élevée, mais ils ne sont pas transportables sur le terrain. Les spectromètres portatifs présentent des caractéristiques techniques moins performantes, mais ils sont bien adaptés pour des usages de terrain dans le cadre de la gestion des ressources naturelles. Le laboratoire sciences du bois de l'ESSA-Forêts dispose d'un spectromètre portatif VIAVI MicroNIR 1700, qui a donné des résultats satisfaisants en matière de discrimination d'espèces. Afin de faciliter la généralisation de la méthode, le laboratoire teste un nouveau matériel moins onéreux qui pourrait être distribué dans toutes les directions régionales de l'administration forestière et les agents de contrôle. Cette étude a alors pour objectif de comparer la potentialité

d'un NIRscan Nano Texas Instrument (Dallas TX, USA) par rapport au VIAVI MicroNIR 1700 (JDSU, Santa Rosa, CA, USA) pour discriminer trois espèces de *Dalbergia* de Madagascar : *D. chlorocarpa* Bosser & R.Rabev, *D. orientalis* Bosser & R.Rabev. et *D. purpurascens* Baill..

### Matériels et méthodes

L'étude repose sur 59 échantillons de microcarottes de bois de 5 mm de diamètre appartenant à trois espèces de *Dalbergia* : *D. chlorocarpa*, *D. orientalis* et *D. purpurascens* (Tab. 1). Le choix de 3 ces espèces se justifie par leur appartenance aux espèces de grands arbres qui présentent un intérêt commercial.

Tab. 1 : Nombre et répartition des échantillons selon les espèces

Espèces	Nombre d'échantillons	Lot d'étalonnage	Lot de validation
<i>D. chlorocarpa</i>	8	6	2
<i>D. orientalis</i>	23	17	6
<i>D. purpurascens</i>	28	14	4

Les carottes de bois ont été stabilisées dans une enceinte climatique (65% HR, 20°C) pour obtenir une humidité de 12%. Sur chaque échantillon ainsi stabilisé sans autre préparation, 4 à 5 spectres ont été mesurés sur le duramen, avec le MicroNIR puis avec le NIRscan Nano (Tab. 2). Les spectres obtenus avec les 2 matériels ont été prétraités avec le logiciel Chemflow en utilisant trois pré-traitements différents : Standard Normal Variate, Detrend, Dérivation et Lissage de Savitzki Golay. Deux modèles de discrimination ont été établis respectivement sur les spectres mesurés à partir du NIRscan Nano (PLSDA\_NIRscan Nano) et MicroNIR (PLSDA\_MicroNIR) en utilisant l'analyse discriminante par moindres carrés partiels (PLSDA). Trois quart des échantillons (47) a été utilisé pour l'étalonnage. Chaque modèle a ensuite été testé sur le quart d'échantillons restant (12). Les performances des modèles ont été comparées au moyen des pourcentages d'erreur de classification en validation indépendante.

Tab. 2 : Caractéristiques techniques des deux spectromètres

Spectromètre	Région spectrale (nm)	Résolution (nm)	Prix (USD)
VIAVI MicroNIR 1700	908 – 1676	6,19	20000
NIRscan Nano	900 -1700	3,93	1000

### Résultats et discussions

La dérivation seconde de Savitzki-Golay constitue le meilleur prétraitement qui a permis d'aboutir à des erreurs de classifications minimales pour les deux modèles PLSDA (Tab. 3). Le modèle PLSDA\_NIRscan Nano présente un pourcentage d'erreur de classification en validation indépendante deux fois moins élevé par rapport au modèle PLSDA\_MicroNIR. La différence de performance des deux spectromètres semble être surestimée sur la base des erreurs de classification en validation indépendante car la taille du lot de validation est faible. Mais en se basant sur le nombre de spectres bien classés en validation indépendante, on peut dire que les deux spectromètres présentent des performances proches. En effet, 11 sur 12 individus sont bien classés par le modèle PLSDA\_NanoNIR, contre 10 individus pour le modèle PLSDA\_MicroNIR (Tab. 4). Par rapport au NanoNIR, la largeur de la fenêtre de mesure du MicroNIR est plus grande que le diamètre des échantillons de microcarottes, ce qui pourrait avoir laissé davantage d'éventuelles grandeurs d'influences externes à déformer les spectres, à l'exemple des fuites de rayonnements PIR et l'enregistrement des lumières parasites par le

capteur du spectromètre. La résolution du spectromètre qui est bien plus élevée pour le NanoNIR par rapport au MicroNIR pourrait également contribuer dans l'apport davantage d'informations chimiques dans les spectres mesurés sur le NanoNIR que ceux des spectres prises avec le MicroNIR. Les modèles PLSDA aurait été influencés par l'effet de ces grandeurs.

Pour les deux modèles PLSDA, l'erreur de classification qui est encore assez élevé pourrait être liée à l'existence d'espèces dont les caractéristiques chimiques sont très proches, ou à l'incertitude des données de références sur les noms des espèces.

Tab. 3: Performance des deux modèles PLSDA

Espèces	Modèles	Prétraitements	Nombre de VDs	%E <sub>vc</sub>	%E <sub>p</sub>
<i>D. chlorocarpa</i> <i>D. purpurascens</i> <i>D. orientalis</i>	PLSDA (NanoNIR)	Der2 (W= 9 points)	8	31,4	8,3
	PLSDA (MicroNIR 1700)	Der1 (W=5 points)	2	40.0	16,7

E<sub>vc</sub> : Erreur de classification en validation croisée

E<sub>p</sub> : Erreur de classification en validation indépendante

VDs : variables discriminantes

Tab. 4: Matrice de confusion en validation indépendante

		Classes de références (PLSDA_NIRscan Nano)					Classes de références (PLSDA_MicroNIR)					
		<i>chlorocarpa</i>	<i>orientalis</i>	<i>purpurascens</i>	Nombre d'individus bien classés	Nombre d'individus mal classés	<i>chlorocarpa</i>	<i>orientalis</i>	<i>purpurascens</i>	Nombre d'individus bien classés	Nombre d'individus mal classés	
Classes prédites	<i>chlorocarpa</i>	2	0	0	2	0	<i>chlorocarpa</i>	2	0	0	2	0
	<i>orientalis</i>	0	6	2	6	0	<i>orientalis</i>	0	6	1	6	0
	<i>purpurascens</i>	0	0	2	2	2	<i>purpurascens</i>	0	0	3	3	1
% bien classés		100	100	50	83,3% (10/12)		% bien classés		100	100	75	91,7% (11/12)
% erreur de classification		0	0	50	16,7% (2/12)		% erreur de classification		0	0	25	8,3% (1/12)

## Conclusions et perspectives

Les résultats de cette étude montrent que les deux spectromètres ont des performances proches. Le coût d'acquisition du matériel est pourtant plus accessible pour le NanoNIR que celui du MicroNIR 1700. Ce qui rend le NanoNIR plus adapté pour les pays en développement comme Madagascar, en tant qu'outil d'aide dans la gestion des ressources en bois précieux. Néanmoins, les erreurs de classifications pour les deux modèles sont encore assez élevées. Plusieurs optimisations sont encore nécessaires afin d'utiliser l'outil et le modèle dans la gestion des ressources en bois précieux de Madagascar, notamment en terme d'enrichissement des échantillons d'étalonnage des modèles, la vérification des noms scientifiques attribués à chaque échantillon, la sélection des variables pour le traitement des données, et la combinaison d'autres prétraitements.

## Remerciements

Nous adressons nos vifs remerciements aux 3 équipes de recherche au sein desquelles se déroulent cette présente thèse : - Laboratoire des Sciences du bois (Département des Eaux et Forêts, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Madagascar), - Laboratoire d'anatomie, de dendrochronologie et d'identification des bois ou LAIM (Escola Superior de Agricultura « Luiz de Queiroz », Université de São-Paulo, Piracicaba, Brésil) - Plateforme d'histocytologie et d'imagerie cellulaire végétale (UMR Agap et BPMP), Montpellier, France. La thèse est financée par le WRI (World Resources Institute) et par l'OWSD (Organization for Women in Science for the Developing World).

## Références

### Jenkins et al. 2012

**Shah**, A., Rahim, S., Bhatti, K. H., Khan, A., Din, N., Imran, M., Iqbal, J. (2015) Ethnobotanical study and conservation status of trees in the district Sargodha, Punjab, Pakistan. *PHYTON*, 84, 34-44.

Snel, F.A., Braga, J.W.B., Silva, D., Wiedenhoef, A.C., Costa, A., Soares. R., Coradin V.T.R., Pastore, T.C.M. (2018) Potential field-deployable NIRS identification of seven Dalbergia species listed by CITES. *Wood Science and Technology*, doi: 10.1007/s00226-018-1027-9

Tsuchikawa., S, Inoue., K, Noma., J. & Hayashi., K. (2003) Application of near-infrared spectroscopy to wood discrimination, *Journal of wood science*, 49: 29-35

Tsuchikawa S., Kobori H. (2015) A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology, *Journal of Wood Science and Technology*, 61:213-220