

A photograph of a palm forest with a teal circular graphic overlay containing text. The forest consists of numerous tall palm trees with large, fan-shaped fronds, some of which are brown and drooping. The ground is dry and sandy, with some sparse vegetation. The sky is a pale, overcast blue.

# Bois & forêts des tropiques

3<sup>e</sup> trimestre 2022  
n° 353

# Bois & forêts des tropiques

Revue éditée par le Cirad  
n° 353 / 3<sup>e</sup> trimestre 2022

## Rédacteur en chef

Jean-François Trébuchon

## Rédacteurs scientifiques

Kévin Candelier

Vincent Freycon

Antoine Galiana

Valéry Gond

Jean Gérard

Romain Lehnebach

Jacques Tassin

## Coordination éditoriale

Jean-François Trébuchon

## Comité éditorial 2020-2022

Seheno Andriantsaralaza (Madagascar)

Samuel Assembe-Mvondo (Cameroun)

Loïc Brancheriau (France)

Stéphanie Carrière (France)

Adeline Fayolle (Belgique)

Isabel Garcia Drigo (Brésil)

Mohamed Tahar Elaïeb (Tunisie)

Gerard Nounagnon Gouwakinnou (Bénin)

Isabel Gutierrez-Montes (Costa Rica)

Jean-Michel Harmand (France - Côte d'Ivoire)

Verina Ingram (Cameroun)

Lydie-Stella Koutika (République du Congo)

Anne Larson (Pérou)

Nassima Lassouane (Algérie)

Guillaume Lescuyer (France)

William Mala (Cameroun)

Lucas Jose Mazzei De Freitas (Brésil)

Florence Bobélé Niamke (Côte d'Ivoire)

Symphorien Ongolo (Allemagne)

Johan Oszwald (France)

Amadé Ouédraogo (Burkina Faso)

Ángela Parrado Rosselli (Colombie)

Josoa Randriamalala (Madagascar)

Franck Richard (France)

Cécile Richard-Hansen (France)

Er-Riyahi Saber (Maroc)

Jolien Schure (Suède)

Jose Antonio Sierra-Huelsz (Mexique)

Marie Laure Sougoti-Guissou (Burkina Faso)

Shinya Takeda (Japon)

Marie-France Thévenon-Brillard (France)

Irié Casimir Zo-Bi (Côte d'Ivoire)

## Graphistes

Pierre-Yves Bled, Jean-Jacques Gonod

## Correcteur

Jacques Bodichon

## Traductrices

Ilona Bossanyi

Anna Lon Quintana

## Service de presse

Laurence Campas

Jean-François Trébuchon

## Webmestre

Jean-François Trébuchon

## Directrice de publication

Élisabeth Clavierie de Saint Martin



## Relecteurs ayant contribué à l'évaluation des articles en 2021/

### Reviewers who have contributed to the evaluation of articles in 2021

Abderrahman Aafi, Fatiha Abdoun, Nadine Amusant, Seheno Andriantsaralaza, Julien Andrieu, Achille Assogbadjo, Wouyo Atakpama, Claudette Bayé-Niwah, Michel Bechtold, Farid Bekdouche, Abdelkader Nabil Binghamen, Salima Benhouhou, Lilain Blanc, Évelyne Bocquet, Manuel Boissière, Frans Bongers, Laurence Boutinot, Loïc Brancheriau, Rafael Calama, Kévin Candelier, Philippe Cattant, Jakub Cerny, Gilles Chaix, Colas Chervier, Daniel Cornelis, Mathieu Coulis, François Courbet, Pascal Danthu, André De Kesel, Victor Deklerck, Denis Depommier, Nathalie Diagne, René Dommain, Jean-Louis Doucet, Chauvelin Douh, Isabelle Droy, Émilien Dubiez, Fulvio Ducci, Simon Dufour, Stéphane Dumarcay, Mohamed Elaïeb, Denis Fabre, Adeline Fayolle, Édith Fernandez-Baca, Éric Forni, Vincent Freycon, Antoine Galiana, Isabel Garcia Drigo, João Carlos Garzel, Leodoro Silva, Laurent Gazull, Jean Gérard, Nancy Gélinas, Michel Gerkens, Valéry Gond, Maya Gonzalez, Mostefa Goubi, Sylvie Gourlet-Fleury, Gérard Nounagnon Gouwakinnou, Michel Grimaldi, Hubert Guérin, Brahim Guit, Jean-Michel Harmand, Jean-Marc Hélin, Dominique Hervé, Didier Hubert, M'dja Justin Kassi, Kouami Kokou, Lydie-Stella Koutika, Clément Lacoste, Nassima Lassouane, Solen Le Clech, Nicolas Le Moigne, Guillaume Lescuyer, Joseph Levillain, Florent Lombard, Jean Joël Loumeto, Dominique Louppe, Bernard Mallet, Rémy Marchal, Éric Marcon, Baptiste Marquant, Jean-François Mas, Mohamed Djamel Miara, Olivier Monteuis, Saïd Moukrim, Roldan Muradian, Bouzid Nedjimi, Bobélé Niamké, Éric Nicolini, Jean Paul Obame Engone, Johan Oszwald, Amadé Ouédraogo, Sibiri Jean Ouédraogo, Ouhammad Ouhammad, Angela Parrado-Rosselli, Adrien Péroches, Noémie Pousse, Antaryami Pradhan, Javier Puntieri, Khellaf Rahbi, S. M. Rajendran, Jacques Ranger, Dimitrios Raptis, Julian Rode, Patrick Rousset, Er-Riyahi Saber, Peter Saenger, Moukrim Saïd, Maisa Santos Joaquim, Mohamed Sarmoum, Julien Schure, Jose Antonio Sierra-Huelsz, Marijenka Tabaković, Jacques Tassin, Simon Taouourdeau, Bernard Thibaut, Fanta Tietiambo, Toma Tonchev, Issam Touhami, Bernard Toutain, Pius Tshimankinda Mpiana, Alain Tsoheng, Jean-François Trébuchon, Brij M. Upreti, Ivaylo Velichkov, Cédric Vermeulen, Matthieu Vignal, Guillaume Viscardi, D. Andrew Wardell, Olga Yongo, Chonglu Zhong, Irié Casimir Zo-Bi.

Accès gratuit aux articles  
en **version électronique** sur la plateforme  
de publication Revela du Cirad :

## revues.cirad.fr

© Bois et forêts des tropiques © Cirad

ISSN 0006-579X

ISBN: 978-2-87614-786-7 (PDF)

ISBN: 978-2-87614-785-0 (relié)

Dépôt légal : octobre 2022

283997X - Imprimé en Belgique par CIACO SC,

rue de Rodeuhaie, 27, 1348 Louvain-la-Neuve

Belgique

Maquette : P.-Y. Bled, Curvalle ; J.-J. Gonod, Montpellier

Numéro d'inscription à la CPPP : 59465

Directrice générale : É. Clavierie de Saint Martin

## Impression du numéro à la demande

consulter le site web [idoc](http://idoc) : 80 €/exemplaire

**Version papier** abonnement annuel de 4 numéros :

France : **240 €/an ttc**

Autres pays de l'Union européenne : **240 €/an ht**

Pays hors Union européenne : **260 €/an ht**

## Abonnements et commandes de numéros

Cirad - Bois et forêts des tropiques

Campus international de Baillarguet

TA C-DIR/B

34398 Montpellier Cedex 5, France

Tél. : +33 4 67 59 37 81

Télécopie : +33 4 67 59 37 55

Site web : <http://revues.cirad.fr/index.php/bft>



Peuplements de rôniers à *Borassus akeassii* à Gouindougouba (commune de Soubakaniédougou) dans le sud-ouest du Burkina Faso.

*Borassus akeassii* rônier palm tree stands in Gouindougouba (Soubakaniédougou commune) in southwest Burkina Faso. Photo A. Béné, Gouindougouba, avril 2019.



La Ciaco est une coopérative de production de papeterie, d'imprimerie et de librairie. Les papiers utilisés sont TFC ou ECF, labellisés FSC ou PEFC. Les encres sont sans solvant et non toxiques. L'imprimerie est autonome en énergie électrique avec des équipements solaires produisant de l'énergie renouvelable nécessaire à la production.

## Conditions de publication

Consulter les instructions aux auteurs qui figurent sur le site web : <http://revues.cirad.fr/index.php/bft>

Pour être recevables, les textes doivent être originaux.

Tous les articles sont soumis à l'appréciation d'un comité éditorial. Après acceptation, des corrections ou modifications sont proposées aux auteurs.

Les opinions émises par les auteurs n'engagent pas la responsabilité de la rédaction.



## Politique d'Accès Libre Open Access policy

La revue est en Accès Libre gratuit sans frais de publication et sans frais de lecture sur le site web. Il n'y a pas d'embargo, les articles sont accessibles sur le site web immédiatement après publication. Tous les frais de publication et d'évaluation sont pris en charge par la revue. Seul le tirage papier est payant avec un abonnement annuel, sans obligation pour la publication de l'article. Les articles sont régis en France par le droit d'auteur avec une cession de droits. L'auteur a la paternité du contenu et cède seulement ses droits pour la fabrication et la diffusion électronique et imprimée de l'article. L'auteur est libre de diffuser l'article dont il est auteur autant qu'il le souhaite et sans réserve, sans le modifier. L'auteur est libre de déposer l'article dans les archives publiques et sur les sites web de son institution de recherche. Les articles sont régis à l'international par les licences Creative Commons.



## La licence utilisée est

Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Cette licence autorise la redistribution, à des fins commerciales ou non, tant que l'œuvre est diffusée sans modification et dans son intégralité, avec attribution et citation du nom des auteurs selon le souhait de la revue. L'auteur est autorisé à partager, copier, distribuer et communiquer le matériel par tous moyens et sous tous formats pour toute utilisation, y compris commerciale. L'offrant ne peut retirer les autorisations concédées par la licence tant que vous appliquez les termes de cette licence. Les utilisateurs doivent créditer l'œuvre, intégrer un lien vers la licence et indiquer si des modifications ont été effectuées à l'œuvre.

L'utilisation d'une licence *creative commons* ne se substitue pas au Droit d'auteur et au *copyright*.

## LE POINT SUR...

- Impact de la provenance, de la morphologie et du stockage des graines de *Lophira lanceolata* sur leur germination au Bénin** 3  
 A. LOTCHIO, A. DICKO, A. K. NATTA
- Distribution et traits caractéristiques des populations du palmier rônier *Borassus akeassii* dans le sud-ouest du Burkina Faso** 17  
 A. BÉNÉ, J.-L. DEVINEAU, A. FOURNIER
- Plantations forestières de *Toona ciliata* : impacts de la gestion flexible sur leur viabilité économique** 31  
 R. A. MUNIS, D. A. CAMARGO, D. SIMÕES
- Suivi de la dynamique de deux parcs à *Faidherbia albida* du Nord-Cameroun, par analyse d'images *Google Earth*** 43  
 A. AKODEWOU, O. PALOU MADI, B. MARQUANT, R. PELTIER
- Impacts du changement d'utilisation des terres sur la biomasse et la diversité dans le paysage forestier de la réserve de biosphère de Yangambi en République démocratique du Congo** 61  
 L. MANGAZA, J.-R. MAKANA, W. HUBAU, D. J. SONWA, G. BATSI, A. FAYOLLE
- Effets de la concentration en azote et des cotylédons sur les préférences pour l'azote des plantules de *Cedrus atlantica* Manetti** 75  
 B. EL AMRANI, M. BENDRISS AMRAOUI

## DESCRIPTIF TECHNIQUE

- Descriptif technique d'essence tropicale – Kotibé – *Nesogordonia* spp.** 87

## RÉSUMÉ DE THÈSE

- Dynamique spatio-temporelle de la forêt de mangrove dans la province de Trat en Thaïlande** 93  
 U. PIMPLE

## VOS LECTURES

30 – 42 – 74 – 86

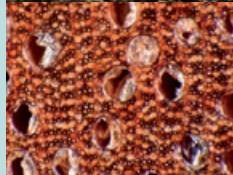
- L'École française d'agroforesterie.** 95

## ACTES DE CONFÉRENCES

- La 20<sup>e</sup> conférence IUFRO, Tree Biotech et la 2<sup>e</sup> conférence sur la biologie moléculaire et la biotechnologie des arbres forestiers, 7-9 juillet 2022, Harbin, Chine.** 96

## CONFÉRENCES INTERNATIONALES

- Réunion IRG54 du Groupe international de recherche sur la protection du bois, 28 mai - 1<sup>er</sup> juin 2023, Cairns, Queensland, Australie.** 97
- Colloque « Santé des écosystèmes forestiers : enjeux de société », 21-22 mars 2023, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, France.** 98





## FOCUS ON...

- Impact of provenance, morphology and storage times on the germination of *Lophira lanceolata* seeds in Benin** 3  
A. LOTCHIO, A. DICKO, A. K. NATTA
- Distribution and characteristics of *Borassus akeassii* populations in south-west Burkina Faso** 17  
A. BÉNÉ, J.-L. DEVINEAU, A. FOURNIER
- Forest plantations with *Toona ciliata*: impacts of managerial flexibility on economic viability** 31  
R. A. MUNIS, D. A. CAMARGO, D. SIMÕES
- Monitoring the dynamics of two *Faidherbia albida* parklands in North Cameroon by analysis of Google Earth images** 43  
A. AKODEWOU, O. PALOU MADI, B. MARQUANT, R. PELTIER
- Impacts of land use change on biomass and diversity in the forest landscape of the Yangambi Biosphere Reserve in the Democratic Republic of Congo** 61  
L. MANGAZA, J.-R. MAKANA, W. HUBAU, D. J. SONWA, G. BATSI, A. FAYOLLE
- Effect of nitrogen concentration and cotyledons on nitrogen preference in seedlings of *Cedrus atlantica* Manetti** 75  
B. EL AMRANI, M. BENDRISS AMRAOUI

## TECHNICAL DESCRIPTION

- Technical description of tropical species. Kotibé / Danta – *Nesogordonia* spp.** 87

## PHILOSOPHIÆ DOCTOR ABSTRACT

- Spatio-temporal dynamics of mangrove forest in Trat Province, Thailand** 93  
U. PIMPLE

## BOOK REVIEW

- 30 – 42 – 74 – 86  
**The French School of Agroforestry.** 95

## CONFERENCE PROCEEDINGS

- The 20<sup>th</sup> IUFRO, Tree Biotech & The 2<sup>nd</sup> Forest Tree Molecular Biology and Biotechnology Conference, 7-9 July 2022, Harbin, China.** 96

## INTERNATIONAL CONFERENCES

- IRG54 meeting of the International Research Group on Wood Protection, 28<sup>th</sup> May – 1<sup>st</sup> June 2023, Cairns, Queensland, Australia.** 97
- Colloquium “Forest ecosystem health: societal issues”, 21-22 March 2023, Muséum national d’Histoire naturelle, Paris, France.** 98

# Impact de la provenance, de la morphologie et du stockage des graines de *Lophira lanceolata* sur leur germination au Bénin



**Photo 1.**

Pépinière de *Lophira lanceolata* sous ombrage léger dans le phytodistrict du Borgou-Sud au Bénin.  
*Lophira lanceolata* nursery under light shade in the South Borgou phytodistrict in Benin  
Photo A. Lotchio.

**Alain LOTCHIO<sup>1</sup>**  
**Aliou DICKO<sup>1</sup>**  
**Armand Kuyéma NATTA<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Université de Parakou  
Laboratoire d'écologie, de botanique  
et de biologie végétale (LEB)  
03 BP 125, Parakou  
Bénin

<sup>2</sup> Université de Parakou  
Faculté d'agronomie  
BP 123, Parakou  
Bénin

**Auteur correspondant /**  
**Corresponding author:**  
Alain LOTCHIO - [alotchio@gmail.com](mailto:alotchio@gmail.com)

**Doi :** 10.19182/bft2022.353.a36994 – Droit d'auteur © 2022, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 18 juin 2021 ;  
date d'acceptation : 26 janvier 2022 ; date de publication : 1<sup>er</sup> septembre 2022.



Licence Creative Commons :  
Attribution - 4.0 International.  
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

## Citer l'article / To cite the article

Lotchio A., Dicko A., Natta A. K., 2022. Impact de la provenance, de la morphologie et du stockage des graines de *Lophira lanceolata* sur leur germination au Bénin. Bois et Forêts des Tropiques, 353 : 3-16. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2022.353.a36994>

## RÉSUMÉ

### Impact de la provenance, de la morphologie et du stockage des graines de *Lophira lanceolata* sur leur germination au Bénin

Les graines de *Lophira lanceolata* sont utilisées au Bénin pour la production d'huile végétale, la fabrication du savon et aussi pour l'alimentation. Cette étude vise à élucider l'influence de la provenance, du stockage et des traits morphologiques (longueur, diamètre, masse) des graines de *L. lanceolata* sur leur germination, afin de pouvoir mieux maîtriser la reproduction par graine de cette espèce. Les fruits matures de *L. lanceolata* ont été collectés dans les phytodistricts du Borgou-Nord (zone soudanaïenne) et du Borgou-Sud (zone soudano-guinéenne), au Bénin. Les traits morphologiques (la longueur et le diamètre) ont été mesurés sur les fruits (avant le décortilage) et aussi sur les graines (après le décortilage). Les fruits et les graines (décortiquées) ont été pesés avant d'être ensemencés. Un modèle linéaire généralisé (GLM) avec la famille quasi-poisson a été développé afin d'évaluer l'influence des traits morphologiques sur la durée de germination des graines. Ensuite, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été appliqué pour estimer l'effet de la durée de conservation des graines (7, 14 et 21 jours) sur le nombre de jours nécessaire à leur germination. Enfin, l'effet de la provenance des graines sur leur temps de germination a été déterminé grâce à un GLM avec la famille négative binomiale et le test de Kruskal-Wallis. Les résultats ont montré que les graines dont la taille est la plus grande mettent plus de jours à germer. Le temps de conservation des graines influe également sur leur durée de germination : plus les graines sont conservées longtemps avant le semis, plus elles mettent de temps à germer. Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre les taux de germination en fonction des différentes durées de conservation des graines. La durée de germination moyenne des graines n'est également pas significativement influencée par la provenance des graines, 10,8 jours pour le phytodistrict du Borgou-Nord et 10,3 jours pour le phytodistrict du Borgou-Sud. Par contre, le taux moyen de germination est significativement affecté par la provenance des graines, 70 % pour les graines du Borgou-Sud comparé à 32 % pour celles du Borgou-Nord. Les résultats issus de ce travail peuvent fournir des indications en vue d'une meilleure sélection des graines pour réaliser des pépinières dans les programmes de reboisement dans les savanes soudano-guinéenne et soudanaïenne du Bénin.

**Mots-clés :** *Lophira lanceolata*, traits morphologiques, phytodistrict, graine, germination, Bénin.

## ABSTRACT

### Impact of provenance, morphology and storage times on the germination of *Lophira lanceolata* seeds in Benin

*Lophira lanceolata* seeds are used in Benin for vegetable oil production, soap making and also for food. This study aims to elucidate the influence of provenance, storage and morphological traits (length, diameter, mass) of *L. lanceolata* seeds on their germination, in order to better control the propagation of this species using seedlings. Mature fruits of *L. lanceolata* were collected in the phytodistricts of Borgou-North (Sudanian zone) and Borgou-South (Sudano-Guinean zone), in Benin. Morphological traits (length and diameter) were measured for the fruits (before hulling) and also for the seeds (after hulling). Fruits and seeds (dehulled) were weighed before sowing. A Generalized Linear Model (GLM) with the quasi-poisson family was developed to assess the influence of morphological traits on seed germination time. The non-parametric Kruskal-Wallis test was then applied to estimate the effect of seed storage time (7, 14 and 21 days) on the number of days required for germination. Finally, the effect of seed origin on germination time was determined using a GLM with the negative binomial family and the Kruskal-Wallis test. The results showed that the largest seeds took more days to germinate. Storage time was also found to influence seed germination time: the longer the seeds were stored before sowing, the longer they took to germinate. However, no significant difference was observed between germination rates according to different seed storage times. The average germination time was also not significantly influenced by the origin of the seeds, at 10.8 days for the North Borgou phytodistrict and 10.3 days for the South Borgou phytodistrict. On the other hand, the average germination rate was significantly affected by the origin of the seeds, at 70% for the seeds from Borgou-South as opposed to 32% for those from Borgou-North. The results of this study can provide indications to improve seed selection for nurseries in reforestation programmes in the Sudano-Guinean and Sudanian savannas of Benin.

**Keywords:** *Lophira lanceolata*, morphological traits, phytodistrict, seed, germination, Benin.

A. LOTCHIO, A. DICKO, A. K. NATTA

## RESUMEN

### Impacto de la procedencia, la morfología y el almacenamiento de las semillas de *Lophira lanceolata* en su germinación en Benin

Las semillas de *Lophira lanceolata* se utilizan en Benin para la producción de aceite vegetal, la fabricación de jabón y también para la alimentación. Este estudio pretende dilucidar la influencia de la procedencia, el almacenamiento y los rasgos morfológicos (longitud, diámetro, masa) de las semillas de *L. lanceolata* en su germinación, con el fin de controlar mejor la reproducción por semilla de esta especie. Se recogieron frutos maduros de *L. lanceolata* en los fitodistritos de Borgou Norte (zona sudanesa) y Borgou Sur (zona sudanoguineana), en Benin. Los rasgos morfológicos (longitud y diámetro) se midieron en los frutos (antes de quitarles la cáscara) y también en las semillas (después de quitarles la cáscara). Los frutos y las semillas (descascarilladas) se pesaron antes de ser sembrados. Se desarrolló un modelo lineal generalizado (GLM) con la familia de cuasi-Poisson para evaluar la influencia de los rasgos morfológicos en el tiempo de germinación de las semillas. A continuación, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para estimar el efecto del tiempo de conservación de las semillas (7, 14 y 21 días) sobre el número de días necesarios para la germinación. Por último, se determinó el efecto del origen de las semillas sobre el tiempo de germinación mediante un GLM con la familia binomial negativa. La prueba de Kruskal-Wallis. Los resultados mostraron que las semillas con el mayor tamaño tardaron más días en germinar. El tiempo de conservación de las semillas también influye en su tiempo de germinación, cuanto más tiempo se almacenen las semillas antes de la siembra, más tardarán en germinar. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre las tasas de germinación para los distintos tiempos de almacenamiento de las semillas. El tiempo medio de germinación de las semillas tampoco está significativamente influenciado por el origen de estas, 10,8 días para el fitodistrito Borgou Norte y 10,3 días para el fitodistrito Borgou Sur. Por otra parte, el porcentaje medio de germinación se ve significativamente afectado por el origen de las semillas, un 70 % para las semillas de Borgou Sur frente a un 32 % para las de Borgou Norte. Los resultados de este trabajo pueden proporcionar indicaciones para una mejor selección de semillas para los viveros en los programas de reforestación en las sabanas sudanoguineanas y sudanesas de Benin.

**Palabras clave:** *Lophira lanceolata*, rasgos morfológicos, fitodistrito, semilla, germinación, Benin.

## Introduction

La graine occupe une position cruciale dans le cycle de vie de la plante supérieure (Nambara et Nonogaki, 2012). Le succès avec lequel le nouvel individu est formé, le temps, le lieu et la vigueur du jeune plant sont déterminés par les caractéristiques physiologiques et biochimiques de la graine (hydratation des protéines, changements structuraux sous-cellulaires, respiration, synthèses macromoléculaires et élongation cellulaire...) (Bewley et Black, 1994). Cette reproduction par graine est d'une importance capitale car elle favorise la diversité génétique au sein d'une même espèce végétale (Bellefontaine, 2005). Cependant, la reproduction sexuée doit nécessairement passer par le processus de germination des graines. La germination est le premier stade du cycle de vie des plantes pour produire une nouvelle génération (Baraloto, 2003). Le processus germinatif peut être résumé en trois phases (Bewley, 1997). La première phase est appelée phase d'imbibition et correspond à l'absorption d'eau par la graine. Suite à cette première étape, la deuxième phase est la plus importante car c'est elle qui va déterminer le développement de la graine. À ce stade, une intense activité métabolique se met en place pour l'expression des gènes et la synthèse d'enzymes qui assurent l'hydrolyse des réserves nutritives destinées au développement de la plantule (Finkelstein *et al.*, 2008). La dernière phase correspond, quant à elle, à l'émergence de la racine qui survient avant l'établissement des plantules. Cette étape implique la diminution de la résistance mécanique des tissus de couverture et l'augmentation de la force interne provenant de l'expansion de l'embryon (Footitt *et al.*, 2006).

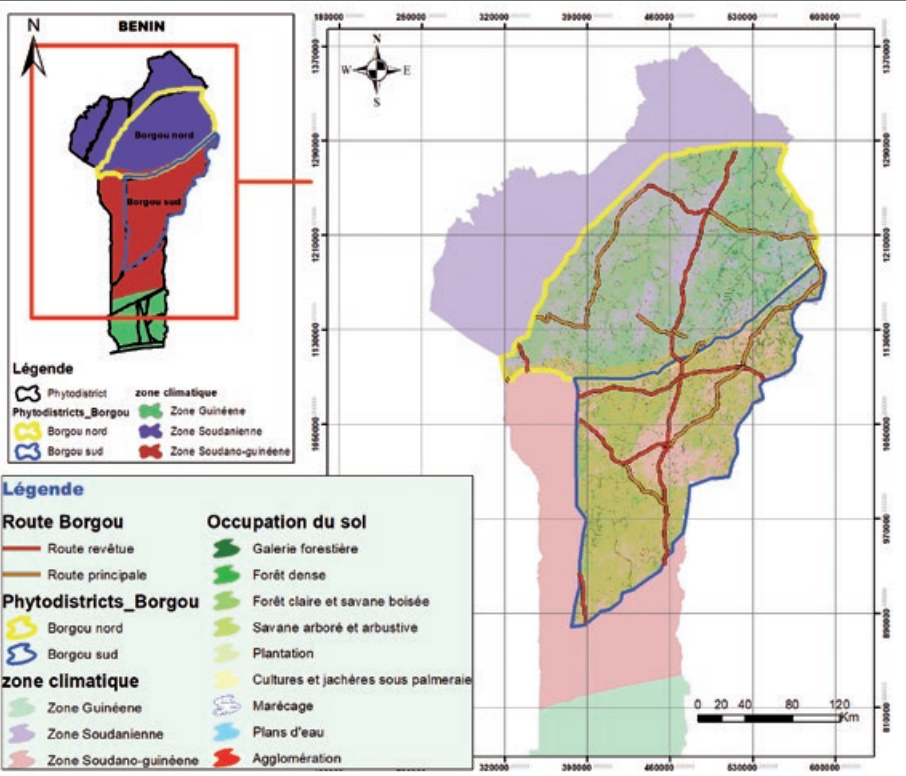
Ainsi, pour la reproduction sexuée, la connaissance des conditions favorables à la germination de même que les traits morphologiques de la graine qui influencent positivement sa germination sont importants (Yélékou *et al.*, 2007). En effet, la capacité germinative des graines dépend de plusieurs facteurs intrinsèques (la dormance de la graine, la perméabilité de la graine à l'eau et à l'oxygène, la qualité des graines) et environnementaux (eau, oxygène, température, lumière, humidité) (Raveneau, 2012). Des travaux de recherche menés sur des graines de plusieurs espèces ont identifié, au titre des causes intrinsèques, des facteurs biochimiques et génétiques impliqués dans la capacité germinative de la graine (N'Dri *et al.*, 2011). En effet, de nombreuses réactions biochimiques, comme la respiration cellulaire, la synthèse des protéines et l'élimination ou la désactivation de l'acide abscissique, se produisent au sein de la graine imbibée d'eau, et leur succès permet la germination de cette dernière (Nonogaki *et al.*, 2010). En dehors des réactions biochimiques, les propriétés intrinsèques des graines jouent également un rôle essentiel dans leur germination. Il existe des graines récalcitrantes, ne tolérant qu'un certain degré de dessiccation pour germer. Lorsque ce taux passe en dessous de 20 % en teneur d'eau pour *Uapaca bojeri*, la graine ne germe plus (Randrianavosoa *et al.*, 2011). Les traits morphologiques de la graine déterminent aussi sa capacité germinative de même que la vitesse de germi-

nation. La longueur, la largeur et la masse des graines sont des grandeurs morphologiques mesurables au niveau des graines et qui influencent sa germination (Touré *et al.*, 2018).

Cependant, pour de nombreuses essences forestières d'Afrique tropicale, la production en pépinière n'est pas encore maîtrisée (Baraloto, 2003), et pourrait ainsi être mieux contrôlée et optimisée grâce à une meilleure connaissance de l'influence de ces paramètres sur la qualité de germination de leurs graines.

*Lophira lanceolata* est une plante des savanes soudano-guinéennes et soudaniennes, à usages multiples. Également appelée bois de fer ou faux karité, c'est une espèce de la famille des Ochnaceae qui pousse dans les hautes savanes guinéennes (Mapongmetsem, 2007). Au Bénin, *L. lanceolata* peut atteindre 19 m de haut et un diamètre de 58,2 cm (Dicko *et al.*, 2019). Les fleurs sont bisexuées, régulières, parfumées, de couleur blanche. Les feuilles sont simples, entières et alternes mais groupées à l'extrémité des branches. L'inflorescence est une panicule terminale, pyramidale, laxiste, de 15 à 20 cm de long (Mapongmetsem, 2007). Les fruits (akènes) possèdent une forme conique avec des graines de forme ovoïde, de couleur marron et glabre. La taille des fruits varie selon l'arbre (Dicko *et al.*, 2019).

*Lophira lanceolata* est très utile pour divers services qu'elle rend à la population sur les plans alimentaire, économique, médicinal et écologique (Dicko *et al.*, 2017). Pour les usages thérapeutiques, le principal mode d'emploi des organes de *L. lanceolata* est l'infusion, suivie de la décoction et de la mouture. Ainsi, par exemple, la décoction des feuilles de *L. lanceolata* est utilisée dans le traitement de l'hypertension artérielle, du paludisme et de la fièvre jaune ; les écorces sont utilisées dans le traitement des maux de dos, alors que les racines et graines le sont en décoction comme antiviral, anti-inflammatoire, contre la fièvre, les infections vénériennes, la jaunisse, la toux mais aussi dans le traitement du paludisme (Dicko *et al.*, 2017 ; Kadiri, 2008 ; Apema *et al.*, 2011). L'huile extraite des graines de la plante sert à l'alimentation, la fabrication des médicaments, la production du savon et pour les soins du corps et des cheveux (Kouyate *et al.*, 2015 ; Nonviho *et al.*, 2014 ; Ouédraogo *et al.*, 2013). Son bois sert à la réalisation des charpentes et à la cuisson des aliments grâce à son bon pouvoir calorifique (Leciak, 2008 ; Roulon-Doko, 1980). Sa reproduction par graine est possible lorsque les graines sont disséminées au sol (Mapongmetsem, 2007). Sur ces graines, plusieurs grandeurs physiques sont mesurables telles que la longueur, le diamètre et la masse. Il existe une corrélation positive et significative entre les caractéristiques morphologiques des fruits et celles des graines de *L. lanceolata* (Dicko *et al.*, 2019). Cependant, la reproduction par graine de l'espèce n'est pas bien maîtrisée et les données sur les traits morphologiques de la graine qui favoriseraient une bonne germination optimale des graines en pépinière ne sont pas encore disponibles. *L. lanceolata* produit des graines récalcitrantes (Louppe, 1994) dont la conservation sur une très longue durée peut affecter négativement la germination.



**Figure 1.**

Localisation et occupation des sols des phytodistricts du Borgou-Sud et du Borgou-Nord, situés respectivement en zones soudano-guinéenne et soudanienne du Bénin, concernés par l'étude.

*Location and land use of the phytodistricts of Borgou-South and Borgou-North, located respectively in the Sudano-Guinean and Sudanian zones of Benin, concerned by the study.*

La collecte des graines de *L. lanceolata* pour la production d'huile en zone soudanienne du Bénin constitue également un obstacle à la disponibilité permanente en semences pour la régénération naturelle de l'espèce. Bien que cette espèce oléagineuse soit d'une grande utilisation socio-économique et médicinale pour les populations locales, elle fait l'objet jusqu'à ce jour d'une exploitation traditionnelle, à l'état sauvage. La commercialisation de ses fruits et des dérivés se fait de façon informelle et compromet la régénération naturelle. Il conviendrait d'envisager des projets de plantation à grande échelle afin d'assurer une exploitation agro-industrielle et de déboucher sur la création de la filière « *Lophira lanceolata* » tout comme la filière karité qui existe déjà au Bénin.

La présente étude vise à évaluer l'effet des traits morphologiques de la graine de *L. lanceolata*, de sa provenance et sa durée de conservation sur le succès de la germination des graines en zones soudano-guinéenne et soudanienne du Bénin. De manière spécifique, les éléments suivants ont été étudiés : l'influence de la longueur, du diamètre et de la masse des graines sur la durée de leur germination ; l'effet de la durée de conservation des graines sur la durée et le taux de germination des graines de *L. lanceolata* ; l'effet du phytodistrict sur la durée et le taux de germination des graines de *L. lanceolata*.

## Matériels et méthodes

### Milieu d'étude

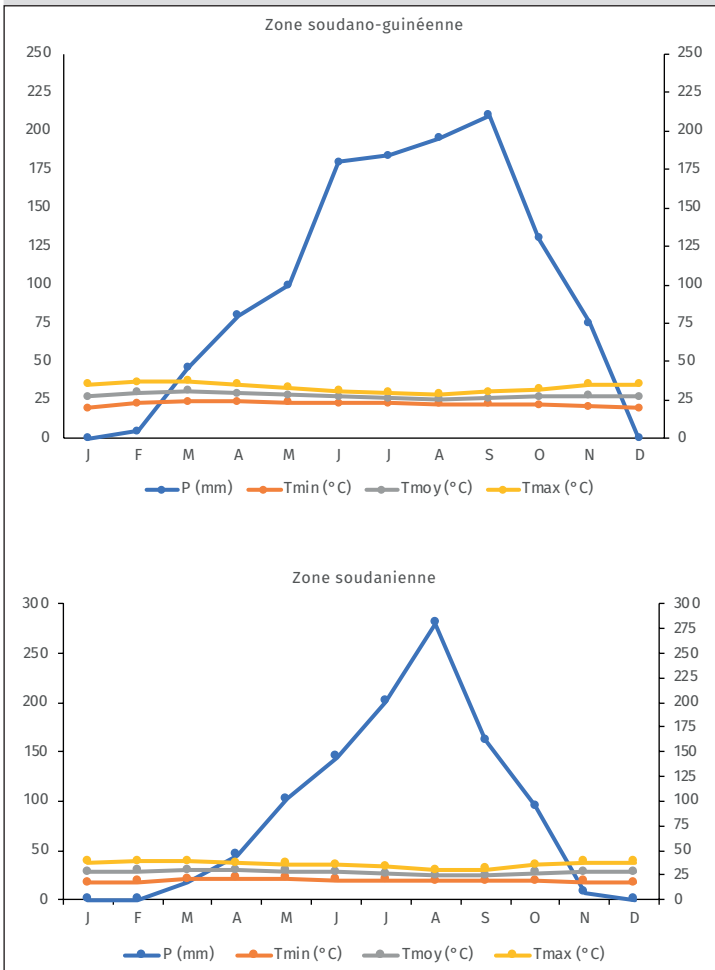
L'étude a été effectuée dans les phytodistricts du Borgou-Sud et du Borgou-Nord, situés respectivement en zones soudano-guinéenne et soudanienne du Bénin (figure 1). Les diagrammes climatiques (figure 2) sur une période de trente ans (1982-2011) des zones soudano-guinéenne et soudanienne ont été construits respectivement à partir des données de l'Agence pour la sécurité de la navigation aérienne (ASECNA) des stations de Parakou et de Kandi. Les arbres reproducteurs de *L. lanceolata* ont été identifiés en zones soudanienne et soudano-guinéenne du Bénin, dans les phytodistricts du Borgou-Nord, du Borgou-Sud et de la Chaîne de l'Atacora, avec une prépondérance d'individus reproducteurs dans les deux premiers districts (Dicko, 2017).

Le phytodistrict du Borgou-Sud, situé en zone soudano-guinéenne, occupe 22 % du territoire national (Adomou, 2005). Le climat est de type tropical sec avec une fusion progressive des deux pics pluviométriques. La pluviométrie annuelle est d'environ 1 200 mm avec une température comprise entre 21 °C et 35 °C. On remarque une absence des forêts denses

humides semi-décidues et un enrichissement des forêts claires et savanes en éléments soudaniens. On y rencontre des forêts claires et savanes boisées à *Isobertia doka* et *Isobertia tomentosa*. On enregistre aussi des forêts denses sèches, des galeries forestières et des formations saxicoles.

Le phytodistrict du Borgou-Nord, situé en zone soudanienne, occupe 27 % du territoire national ; c'est le phytodistrict le plus étendu (Adomou, 2005). La pluviométrie annuelle est d'environ 1 000 mm avec une température comprise entre 17 °C et 38 °C. La végétation est largement dominée par les savanes à tapis graminéen (*Andropogoneae*) continu. Des îlots de forêts denses sèches à *Anogeissus leiocarpa* et de forêts claires à *Isobertia* spp. sont présents sous forme plus ou moins étendue. Les formations dominantes sont les savanes boisées à *Monotes kerstingii*. Les savanes arborées et arbustives à *Burkea africana* et à *Combretum* spp. et les savanes herbeuses à *Panicum* spp. et à *Echinochloa* spp. se trouvent dans les dépressions hydro-morphes. Les forêts-galeries sont dominées par les espèces telles que *Berlinia grandiflora*, *Cola laurifolia*, *Syzygium guineense* ssp. *guineense*, *Borassus aethiopicum*, *Broenadia salicina* et *Raphia sudanica* (Natta, 2003). Dans la partie nord de ce district, après la ville de Kandi, les conditions climatiques deviennent plus xériques, favorisant l'établissement d'une pseudo-steppe à épineux (*Acacia* spp.) et de rares fourrés à *Combretum* spp. (Adomou, 2005).





**Figure 2.**

Diagramme climatique en zone soudanienne (Kandi) et soudano-guinéenne (Parakou), sur la période de 1982 à 2011. Les données sont issues de l'Agence pour la sécurité de la navigation aérienne (ASECNA). P (mm) : pluviométrie en mm ; Tmin (°C) : température minimale en degrés Celsius ; Tmoy (°C) : température moyenne en degrés Celsius ; Tmax : température maximale en degrés Celsius.  
*Climate diagram for the Sudanian (Kandi) and Sudano-Guinean (Parakou) zones, from 1982 to 2011. The data is taken from the Agency for the Safety of Air Navigation (ASECNA). P (mm): rainfall in mm; Tmin (°C): minimum temperature in degrees Celsius; Tmoy (°C): average temperature in degrees Celsius; Tmax: maximum temperature in degrees Celsius.*

### Dispositif expérimental pour les tests de germination

Les fruits matures de *L. lanceolata* ont été récoltés en mai 2019 dans les phytodistricts du Borgou-Nord et du Borgou-Sud. Dix arbres fruitiers ont été sélectionnés de façon aléatoire dans chacun des deux phytodistricts. De chaque arbre reproducteur, 30 fruits matures ont été collectés. Les fruits ont été initialement ramassés au pied des arbres-mères et ont été stockés par étalement sur des couvertures au sol dans une salle à température ambiante et exposée à la lumière du jour (photo 2D). Ainsi, un total de 600 fruits a été collecté dans le cadre de cette expérimentation. Ces fruits matures ont été conservés avec les ailes (sépalés) jusqu'au jour du semis (photos 1 et 4). Les fruits ont été nettoyés



**Photos 2.**

Balance électronique utilisée pour les mesures de la masse des graines (A); pied à coulisse utilisé pour mesurer la longueur et le diamètre des graines (B); graines de *Lophira lanceolata* décortiquées et numérotées (C); fruits secs ailés entreposés (D).  
*Electronic balance used for seed mass measurements (A); Caliper used to measure seed length and diameter (B); Dehusked and numbered *Lophira lanceolata* seeds (C); Stored winged dried fruit (D).*

Photos A. Lotchio.

avant le séchage afin d'éliminer les impuretés et éviter le développement des insectes. Les fruits collectés pendant la saison sèche ont été étalés dans une salle sous aération naturelle. La température de la salle était comprise entre 32 °C et 36 °C. Les traits morphologiques ont été mesurés sur les fruits (avant le décortilage) et aussi sur les graines (après le décortilage). Ainsi, avant d'être semées, les graines ont été décortiquées et mises à nu, puis la masse, la longueur et le diamètre des graines ont été mesurés. La masse des graines a été enregistrée (balance FA2104 Gulfex Medical & Electronic, portée de 210 g et précision de 0,0001 g) (photo 2A). Le diamètre maximal et la longueur des graines ont, quant à eux, été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse (photo 2B). Les répartitions du nombre de graines en fonction des classes de diamètre, de longueur et de la masse, pour les deux zones d'étude, sont présentées dans le tableau I.

Les graines décortiquées ont ensuite été numérotées (photo 2C) puis semées dans des sachets portant le même code de référencement afin d'évaluer l'influence des traits morphologiques de chaque graine et de sa provenance sur le temps nécessaire à sa germination.

Le substrat utilisé pour les tests de germination est constitué d'un mélange de 1/3 de sable et 2/3 de terreau. La teneur en eau des graines a été déterminée avant le semis chaque semaine selon la provenance pour voir leur dessiccation en fonction du temps de conservation (figure 3).



**Photo 3.**  
 Fruits secs ailés de *Lophira lanceolata*.  
 Winged dried fruits of *Lophira lanceolata*.  
 Photo A. Lotchio.



**Photo 4.**  
 Jeunes plantules de *Lophira lanceolata* issues  
 de la germination des graines.  
 Young seedlings of *Lophira lanceolata* from  
 seed germination.  
 Photo A. Lotchio.

Chaque semaine, 15 graines provenant de chaque phytodistrict sont semées dans des sachets en polyéthylène. Dans chaque sachet de 22 cm de hauteur et 8 cm de diamètre était semée une seule graine, ce qui a permis d'obtenir 15 sachets pour chaque phytodistrict par semaine. Les sachets ont été regroupés selon la provenance des graines. Le dispositif utilisé était un dispositif en bloc de Fisher. L'expérience a été répétée trois fois à intervalle d'une semaine, ce qui correspond à trois durées de conservation des fruits avant le décorticage des graines : durée D1 (7 jours), durée D2 (14 jours) et durée D3 (21 jours). Le dispositif expérimental a été installé sous ombrage léger avec un seul arrosage par jour et ajustement de la quantité d'eau en fonction de l'humidité du substrat. Chacun des trois tests de germination a duré deux mois. La date de germination de chaque graine en sachet a été notée (photos 1 et 4). Cette date de germination notée est celle correspondant à la date d'émergence de la racicule du sol.

### Collecte des données

Les traits morphologiques mesurés sur les semences concernent la masse du fruit et de la graine, la longueur du fruit et de la graine, le diamètre du fruit et de la graine (photo 3). Ces traits ont été examinés sur les phytodistricts du milieu d'étude grâce à une statistique descriptive simple (minimum, moyenne, écart-type, maximum, coefficient de variation). Le coefficient de variation (CV) est plus élevé pour la masse des graines (CV = 22,61 %) et est plus faible pour la longueur des graines (CV = 9,98 %) (tableau II).

Plusieurs traits morphologiques des fruits et graines de *L. lanceolata* sont positivement et significativement corrélés (tableau III).

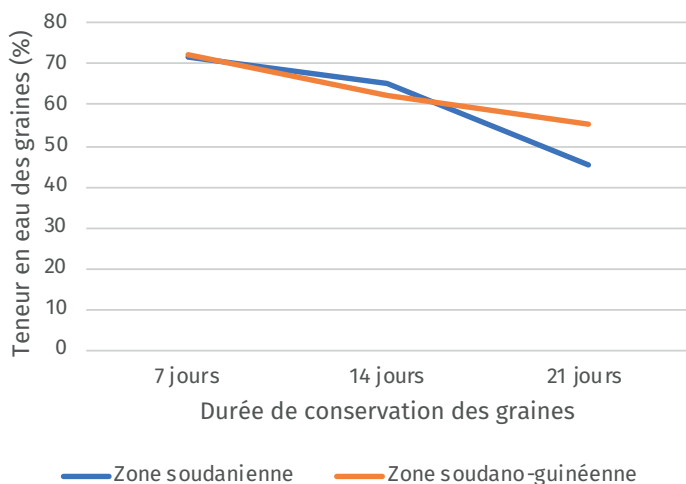
Le nombre de graines ayant germé par jour a été noté de même que la date de germination afin de déterminer la durée de germination des graines et le taux de germination pour chaque lot de graines issu des deux phytodistricts. Le taux de germination est déterminé en multipliant le nombre de graines ayant germé par 100 sur le nombre total de graines semées. Ce taux de germination (TG) a été calculé par provenance et aussi pour chaque lot de semences conservé.

$$TG (\%) = 100 * \frac{\text{Nombre de graines germées}}{\text{Nombre de graines semées}}$$

### Analyse des données

Un modèle linéaire généralisé (GLM) avec la famille quasi-poisson a été appliqué dans le but de déterminer l'influence des traits morphologiques sur le nombre de jours avant la germination des graines.

Concernant l'effet de la durée de conservation sur le nombre de jours avant la germination et sur le taux de germination, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été effectué pour comparer, d'une part, les durées moyennes de germination suivant les périodes de conservation et, d'autre part, le taux moyen de germination suivant les périodes de conservation. Le test de comparaison multiple de Newman-Keuls a été utilisé pour faire ressortir les ressemblances entre les catégories.



**Figure 3.**  
 Variation de la teneur en eau des graines de *Lophira lanceolata* en fonction de la durée de conservation et de la provenance des graines.  
 Variation in the water content of *Lophira lanceolata* seeds as a function of storage time and seed source.

**Tableau I.**

Nombre de graines *Lophira lanceolata* pour chacune des classes de répartition (diamètre, longueur et masse), en fonction des deux zones d'étude.

*Number of seeds of Lophira lanceolata for each of the distribution classes (diameter, length and mass), in relation to the two study areas.*

Nombre de graines par classe de diamètre										
Districts	[6-7]	[7-8]	[8-9]	[9-10]	[10-11]	[11-12]	Total			
Borgou-Nord	17	19	23	31	29	16	135			
Borgou-Sud	12	18	30	26	36	13	135			
Nombre de graines par classe de longueur										
Districts	[10-11]	[11-12]	[12-13]	[13-14]	[14-15]	[15-16]	[16-17]	[17-18]	[18-19]	Total
Borgou-Nord	14	10	11	18	24	20	12	15	11	135
Borgou-Sud	5	8	17	21	19	17	12	22	14	135
Nombre de graines par classe de masse										
Districts	[0,4-0,5]	[0,5-0,6]	[0,6-0,7]	[0,7-0,8]	[0,8-0,9]	[0,9-1]	[1-1,1]	[1,1-1,2]	[1,2-1,3]	Total
Borgou-Nord	10	12	21	22	20	18	10	12	10	135
Borgou-Sud	9	18	18	15	20	22	10	11	12	135

**Tableau II.**

Caractéristiques des fruits et graines de *Lophira lanceolata* du milieu d'étude.

*Characteristics of the fruits and seeds of Lophira lanceolata in the study area.*

Variables	Minimum	Moyenne	Écart-type	Maximum	Coefficient de variation
Masse du fruit (g)	0,630	1,128	0,207	1,640	18,370
Masse de la graine (g)	0,4700	0,8358	0,188	1,2700	22,612
Longueur du fruit (mm)	12,61	18,81	1,921	23,77	10,214
Longueur de la graine (mm)	10,05	15,29	1,526	18,95	9,986
Diamètre du fruit (mm)	7,75	10,79	1,099	12,79	10,187
Diamètre de la graine (mm)	6,670	9,287	0,944	11,00	10,172

L'effet du phytodistrict sur la durée de germination a été évalué par un GLM avec une erreur négative binomiale compte tenu de la sur-dispersion présentée par le modèle avec la distribution de poisson. Ensuite, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisé après vérification de la normalité afin de comparer les durées moyennes et les taux de germination selon la provenance des graines. Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel R, version 3.6.1. Les paramètres suivants ont été utilisés pour caractériser les différents tests statistiques réalisés :

- $\beta$  = estimateur ;
- $t$  = valeur de la statistique  $t$  de Student ;
- $p$  = probabilité que le coefficient soit significativement différent de zéro ;
- KW = valeur de la statistique de Kruskal-Wallis ;
- $df$  = degré de liberté.

## Résultats

### Traits morphologiques et durée de germination des graines de *L. lanceolata*

La durée de la germination est significativement influencée par la masse des graines (tableau IV). Le nombre de jours avant la germination augmente lorsque la graine est lourde. Ainsi, les graines plus lourdes germent moins vite que les graines légères ( $\beta = 31,66892 \pm 13,55970$  ;  $t = 2,336$  ;  $p = 0,0254$ ). Il existe une interaction positive entre les traits morphologiques des graines. Les graines longues et grosses (donc qui pèsent plus) mettent plus de jours pour germer ( $\beta = 0,21086 \pm 0,09249$  ;  $t = 2,280$  ;  $p = 0,0288$ ).

**Tableau III.**

Corrélations entre les traits morphologiques des fruits et graines de *Lophira lanceolata*.  
*Correlations between morphological traits of fruits and seeds of Lophira lanceolata.*

Traits morphologiques	Masse du fruit	Masse de la graine	Longueur du fruit	Longueur de la graine	Diamètre du fruit	Diamètre de la graine
Masse du fruit	1	<b>2,2e<sup>-16</sup></b>	<b>1,02e<sup>-08</sup></b>	<b>1,893e<sup>-10</sup></b>	<b>2,2e<sup>-16</sup></b>	<b>2,2e<sup>-16</sup></b>
Masse de la graine	0,9603	1	<b>4,569e<sup>-10</sup></b>	<b>3,248e<sup>-11</sup></b>	<b>2,2e<sup>-16</sup></b>	<b>2,2e<sup>-16</sup></b>
Longueur du fruit	0,5727	0,6127	1	<b>2,2e<sup>-16</sup></b>	<b>0,0267</b>	<b>0,0266</b>
Longueur de la graine	0,6232	0,6429	0,9795	1	<b>0,0135</b>	<b>0,0134</b>
Diamètre du fruit	0,8342	0,8671	0,2403	0,2671	1	<b>2,2e<sup>-16</sup></b>
Diamètre de la graine	0,8343	0,8672	0,2405	0,2673	0,9999	1

Les valeurs en dessous de la diagonale de valeurs 1 désignent les coefficients de corrélation tandis que les valeurs situées au-dessus de la diagonale et en gras représentent les valeurs des probabilités.  
*Values below the diagonal of values 1 represent correlation coefficients, while values above the diagonal and in bold represent probability values.*

**Tableau IV.**

Influence des traits morphologiques sur la durée de germination des graines de *Lophira lanceolata*.  
*Influence of morphological traits on the germination time of Lophira lanceolata seeds.*

	Estimateur ( $\beta$ )	Erreur standard	Valeur de t	Probabilité Pr (>  t )
Ordonnée (interception)	- 17,41685	11,36678	- 1,532	0,1344
Masse de la graine	31,66892	13,55970	2,336	0,0254*
Longueur de la graine	1,18793	0,75966	1,564	0,1269
Diamètre de la graine	2,20010	1,23804	1,777	0,0842
Masse de la graine : longueur de la graine	- 1,96314	0,88229	- 2,225	0,0326*
Masse de la graine : diamètre de la graine	- 3,46551	1,43820	- 2,410	0,0214*
Longueur de la graine : diamètre de la graine	- 0,12892	0,08181	- 1,576	0,1240
Masse de la graine : longueur de la graine : diamètre de la graine	0,21086	0,09249	2,280	0,0288*

#### Durée de conservation et germination des graines

Il y a une relation significative entre la durée de conservation des graines de *L. lanceolata* et la durée de la germination de ces graines (KW = 6,11 ; p = 0,04712). Les graines ayant été conservées seulement une semaine avant le semis germent plus vite que les graines conservées plus longtemps (tableau V ; figure 4).

#### Effet de la provenance (phytodistrict) sur la germination des graines de *L. lanceolata*

La durée de germination des graines n'est pas significativement influencée par la provenance des graines (KW = 1,4395 ; p = 0,2302). Cela est également confirmé

par la régression poisson avec l'erreur de distribution négative binomiale ( $\beta = - 0,05550 \pm 0,10133$  ; Z = - 0,548 ; p = 0,584) (tableau VI). Les graines du phytodistrict du Borgou-Nord présentent une durée moyenne de germination (10 ,785  $\pm$  1,368 jours) approximativement égale à celles du phytodistrict du Borgou-Sud (10,333  $\pm$  1,47 jours) (tableau VII).

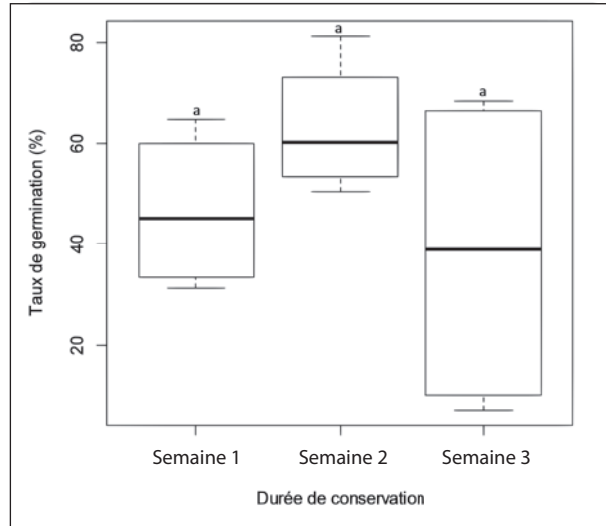
On note une différence significative entre les taux moyens de germination suivant les phytodistricts (KW = 3,8571 ; p = 0,04953). Le taux de germination des graines provenant du phytodistrict du Borgou-Sud est plus élevé que celui des graines provenant du Borgou-Nord (figure 5).

**Tableau V.**

Durées de conservation et de germination des graines de *Lophira lanceolata*.  
*Storage and germination times of Lophira lanceolata seeds.*

Durée de conservation	Durée moyenne de germination	Écart-type
Semaine 1	9,714b	1,382
Semaine 2	10,842a	1,462
Semaine 3	11,000a	1,054

Les moyennes portant la même lettre « a » ne sont pas différentes au seuil de 5 %. Il n'y a pas de différences significatives entre les taux de germination (figure 4) suivant les durées de conservation (KW = 0,85714 ; df = 2 ; p = 0,6514).  
*Means with the same letter 'a' are not different at the 5% level. There were no significant differences in germination rates (Figure 4) between storage times (KW = 0.85714; df = 2; p = 0.6514).*



**Figure 4.**

Taux moyen de germination suivant les durées de conservation des graines. Note : La même lettre « a » indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les taux moyens de germination.  
*Average germination rate according to seed storage times. Note: The same letter "a" indicates that there is no significant difference between the average germination rates.*

**Tableau VI.**

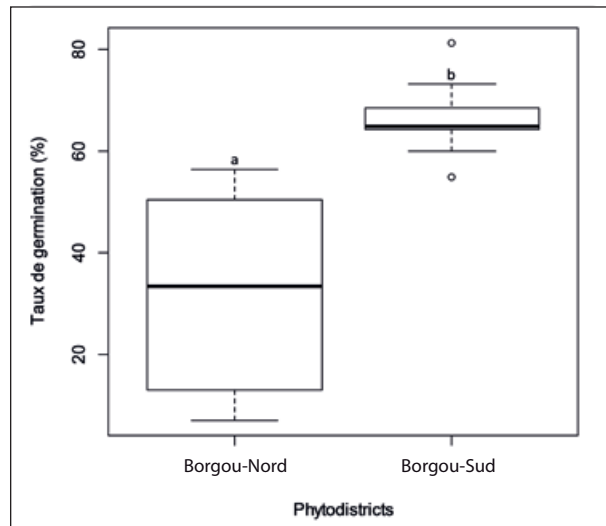
Résultats du GLM à erreur négative binomiale.  
*Results of the GLM with negative binomial error.*

	Estimateur	Erreur standard	Valeur de Z	Probabilité Pr (>  z )
Ordonnée (interception)	2,39088	0,08392	28,491	< 2e-16 ***
District du Borgou-Sud	- 0,05550	0,10133	- 0,548	0,584

**Tableau VII.**

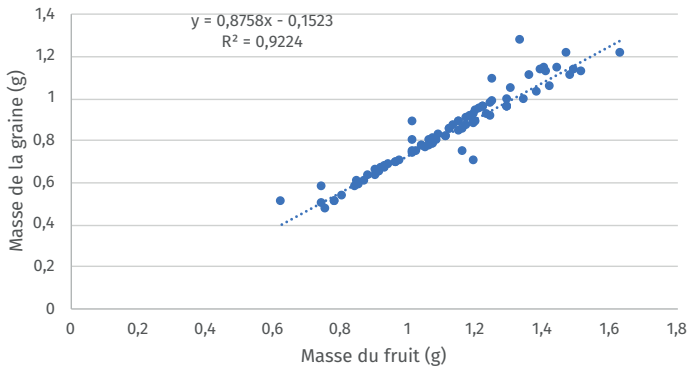
Durée moyenne avant la germination des graines de *Lophira lanceolata*.  
*Average time to germination of Lophira lanceolata seeds.*

Phytdistricts	Durée moyenne avant la germination	Écart-type
Borgou-Nord	10,785	1,368
Borgou-Sud	10,333	1,470

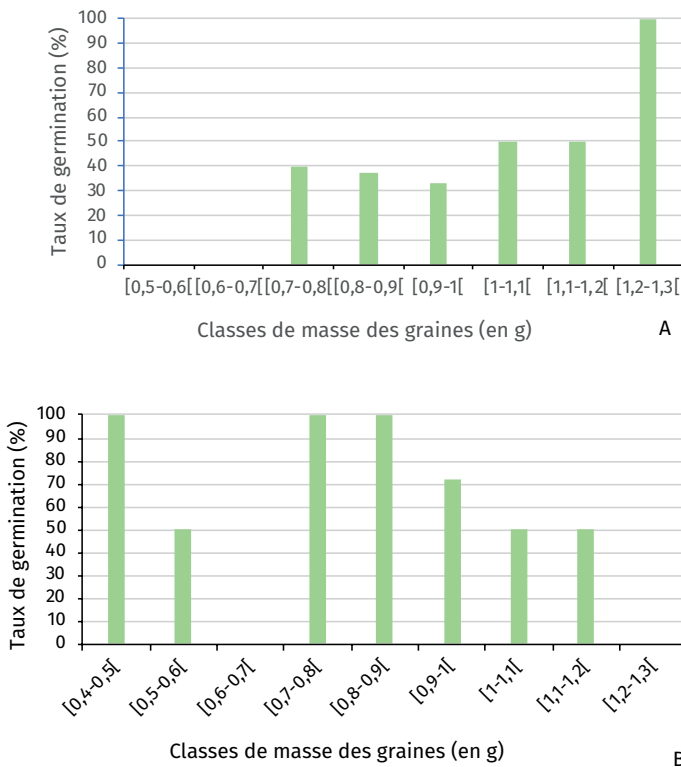


**Figure 5.**

Taux de germination suivant les phytdistricts.  
*Germination rate according to phytodistricts.*



**Figure 6.**  
 Relation entre la masse des fruits et la masse des graines de *Lophira lanceolata*.  
 Relationship between fruit mass and seed mass of *Lophira lanceolata*.



**Figure 7.**  
 Taux de germination des graines par phytodistrict, Borgou-Nord (A) et Borgou-Sud (B), en fonction de la classe de masse des graines. Les valeurs égales à 0 sont dues au fait qu'aucune graine n'a germé.  
 Seed germination rate by phytodistrict, Borgou-North (A) and Borgou-South (B), according to seed mass class. Values equal to 0 are due to the fact that no seeds have germinated.

## Traits morphologiques des graines et taux de germination des graines

Le facteur déterminant est la masse de la graine et des fruits. Il existe une corrélation positive entre la masse des fruits et des graines. Au fur et à mesure que la masse du fruit augmente, la masse de la graine croît (figure 6).

La masse des graines influence le taux de germination dans les phytodistricts. Les graines de la classe [1,2-1,3[ donnent 100 % (figure 7A) de taux de germination dans le Borgou-Nord alors que dans le Borgou-Sud les graines des classes de [0,4-0,5[, [0,7-0,8[ et [0,8-0,9[ donnent un taux de 100 % (figure 7B).

La longueur des graines a un effet sur le taux de germination des graines. Dans le Borgou-Nord, les graines de la classe de [18-19[ donnent un taux de germination de 100 % (figure 8A) alors que dans le Borgou-Sud deux classes de graines de [10-11[ et [18-19[ donnent un taux de germination de 100 % (figure 8B).

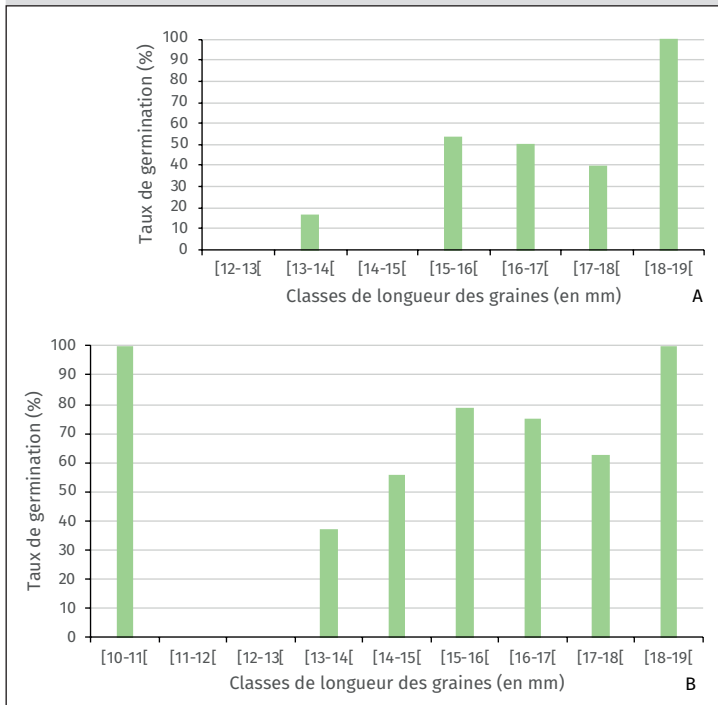
Le diamètre des graines exerce une influence significative sur le taux de germination des graines de *L. lanceolata*. Dans le Borgou-Nord, la classe de diamètre des graines de [11-12[ donne un taux de germination de 100 % (figure 9A) et celle de [9-10[ donne un taux de germination de 83,33 % (figure 9B) dans le Borgou-Sud.

## Discussion

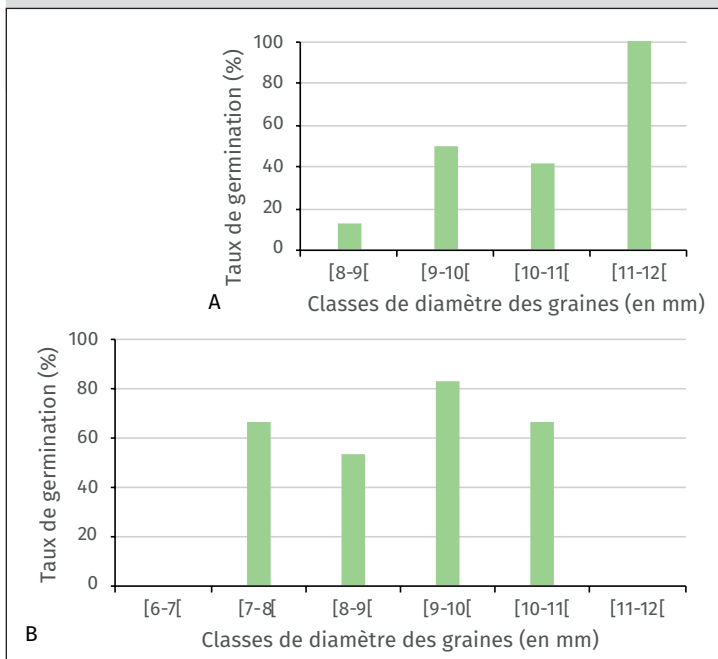
### Traits morphologiques et germination des graines de *L. lanceolata*

Les résultats montrent que la masse des graines de *L. lanceolata* influence significativement la durée nécessaire à leur germination. Cette durée augmente avec la masse des graines. Les grosses graines mettent plus de temps pour germer. Plus la graine est grosse, plus elle accumulerait des réserves de substances nutritives (Bewley et Black, 1994). Les graines lourdes contiendraient certainement suffisamment de substances qui renforceraient l'inhibition de la levée de la dormance physiologique des graines (Nonogaki *et al.*, 2010). Cette levée de l'inhibition est indispensable à la germination des graines. C'est ce qui expliquerait la corrélation significativement négative entre la masse des graines et la durée de la germination.

Bien que les grosses graines mettent plus de temps pour germer, le taux de germination final est plus élevé, notamment dans le phytodistrict du Borgou-Nord. Patel *et al.* (2016) ont fait une revue de littérature sur les facteurs influençant la germination et la croissance de plusieurs essences forestières à graines, tout comme Gonzalez (1993) qui a travaillé sur *Virola koschnyi*. Les résultats de leurs travaux ont montré que l'augmentation de la taille et du diamètre des graines favorise le succès de la germination, avec un taux de germination élevé en comparaison à celui des graines ayant des morphologies plus petites. Ces résultats confirment ceux de la présente étude, qui montrent bien que la masse des graines peut influencer significativement la durée et le taux de leur germination.



**Figure 8.** Taux de germination des graines par phytodistrict, Borgou-Nord (A) et Borgou-Sud (B), en fonction de la classe de longueur des graines. Les valeurs égales à 0 sont dues au fait qu'aucune graine n'a germé.  
*Seed germination rate by phytodistrict, Borgou-North (A) and Borgou-South (B), according to seed length class. Values equal to 0 are due to the fact that no seeds have germinated.*



**Figure 9.** Taux de germination des graines par phytodistrict, Borgou-Nord (A) et Borgou-Sud (B), en fonction de la classe de diamètre des graines. Les valeurs égales à 0 sont dues au fait qu'aucune graine n'a germé.  
*Seed germination rates by phytodistrict, Borgou-North (A) and Borgou-South (B), according to seed diameter class. Values equal to 0 are due to the fact that no seeds have germinated.*

### Durée de conservation et germination des graines

La conservation des graines de *L. lanceolata* au-delà d'une semaine influence significativement et négativement leur germination. Cette perte de capacité germinative serait certainement liée au caractère oléagineux des graines de *L. lanceolata* (Dicko *et al.*, 2017). Des changements biochimiques se produisent dans les graines pendant la conservation (N'Dri *et al.*, 2011). Des antioxydants et des oligosaccharides qui sont essentiels pour la longévité et la protection des graines ont été identifiés (Sattler *et al.*, 2004 ; Lepiniec *et al.*, 2006), permettant ainsi de mieux comprendre la perte de la capacité germinative des graines pendant le stockage. Guimbo *et al.* (2011) ont trouvé que la durée de conservation réduit considérablement le pouvoir germinatif des graines oléagineuses. Leurs travaux sur *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance ont montré que la conservation des graines à douze mois donne un faible taux de germination de 42,80 % alors que la conservation à trois mois donne 92,80 % de taux de germination de ces graines. Selon Sanogo *et al.* (2013), les graines récalcitrantes de *Carapa procera* fraîchement récoltées ont une teneur en eau (rapportée au poids frais) supérieure à 50 % et une faculté germinative supérieure ou égale à 90 %. Quand les graines sont séchées dans une salle ventilée, leur teneur en eau devient inférieure à 20 % après deux semaines de stockage, entraînant une perte totale de leur capacité à germer. Ces résultats montrent que la durée et les conditions de conservation des graines oléagineuses peuvent favoriser leur dessiccation et être néfastes au succès de leur germination. De même, lorsque les graines de *L. microcarpa* sont récoltées et conservées pendant 35 à 65 jours, leur capacité à germer baisse de 46,67 % (Lompo *et al.*, 2019). Cela montre que la conservation des graines de certaines espèces forestières exercerait un effet ralentisseur sur la capacité germinative.

Kouadio *et al.* (2020) ont mené des investigations sur des graines de *Tieghemella heckelii* Pierre ex A. Chev, en considérant trois catégories de graines : les graines fraîches, les graines stockées pendant 14 jours et les graines stockées pendant 21 jours. Ces graines ont présenté des taux de germination respectifs de l'ordre de 72, 56 et 42 %, indiquant que la conservation des graines de cette espèce au bout de 21 jours réduit considérablement le taux de germination optimal des graines et qu'une durée de conservation de 21 jours, comme dans le cas de l'expérience menée ici, pourrait compromettre le succès de la germination. Plus la durée de conservation est faible, plus les graines gardent leur capacité germinative.

### Effet de la provenance des graines (i.e. phytodistrict) sur la germination des graines de *L. lanceolata*

Les graines du Borgou-Sud ont un taux de germination plus élevé que celles du Borgou-Nord. Ce résultat suggère qu'il faut utiliser les graines du Borgou-Sud dans la réalisation de pépinière pour une bonne germination des graines de *L. lanceolata*. Ainsi, la provenance des graines exerce un effet très significatif sur la germination des graines de *L. lanceolata*. Dans les programmes de restauration écologique, il est nécessaire de tenir compte de ce paramètre.

Bognounou *et al.* (2010) ont trouvé que la provenance des graines affecte positivement la capacité germinative de *Combretum aculeatum*. Cela suggère qu'il est important de tenir compte de la provenance des semences impliquées dans les tests de germination afin d'identifier celles qui permettent d'obtenir de bons taux de germination. En effet, Yaaqobi *et al.* (2009) ont aussi constaté une différence entre le taux de germination des graines de *Pistacia atlantica* Desf issues de plusieurs localités, montrant ainsi que la capacité germinative des graines reste liée à leur zone de provenance. Cependant, chez une espèce arbustive, *Caesalpinia bonduc*, la diversité des provenances Ouèdo (Bénin) et Atakpamè (Togo) n'a pas significativement affecté le taux de germination des graines (Hessou *et al.*, 2009). Dans le cas de *L. lanceolata*, ce constat a été fait sur la durée nécessaire à la germination des graines. Ainsi, la provenance des graines n'a pas un effet significatif sur le nombre de jours avant la germination des graines de *L. lanceolata*. La durée de germination des graines de *L. lanceolata* provenant du Borgou-Nord n'est pas significativement différente de celles provenant du Borgou-Sud. Cela indique que la différence des conditions écologiques entre les phytodistricts du Borgou-Nord et du Borgou-Sud n'est pas un facteur suffisant pouvant affecter la durée de germination des graines de *L. lanceolata*.

## Conclusion

La présente étude révèle que la masse des graines de *Lophira lanceolata* influence le succès de la germination. Ainsi, les graines de grand diamètre et de grande longueur (ayant alors une grande masse) germent moins vite que les graines de plus petite morphologie, mais permettent d'avoir un taux de germination élevé, et ce de manière encore plus prononcée lorsqu'elles proviennent du phytodistrict du Borgou-Nord. L'augmentation de la masse des graines ralentirait leur germination mais favoriserait un bon taux de germination finale. Pour une meilleure germination des graines de *L. lanceolata*, il est préférable de les semer déjà une semaine après la récolte. Après deux semaines de conservation, les graines mettent plus de temps à germer. Cette étude montre également qu'il n'y a pas une différence significative entre les durées de germination des graines provenant du phytodistrict du Borgou-Sud (zone soudano-guinéenne) et celles provenant du phytodistrict du Borgou-Nord (zone soudanienne). Les informations de la présente étude serviront d'orientation pour la sélection des meilleures graines dans le cadre de la réalisation de pépinière pour les programmes de reboisement avec *L. lanceolata*. La potentialité d'une graine à germer n'est pas seulement contrôlée par les traits morphologiques des graines, leur provenance ou leur durée de conservation. L'âge de la plante semencière ainsi que les stress subis par la plante dans son milieu tels que l'élagage (pour faire du bois de feu pour les ménages), les brûlures des troncs des arbres en fructification lors des activités de chasse ou de culture itinérante sur brûlis pourraient également avoir des influences sur la qualité des semences produites et, par ricochet, sur la germination des graines. Des expérimentations complémentaires pourraient être conduites sur ces

différents aspects pour élucider l'écophysiologie de la germination des graines de *L. lanceolata*.

## Remerciements

Nous remercions la Fondation internationale pour la science pour avoir octroyé un financement au Dr Aliou Dicko sur cette thématique, contribuant ainsi aux programmes de conservation des espèces forestières au Bénin.

## Information de financement

Cette étude a été réalisée grâce au financement accordé par la Fondation internationale pour la science (IFS Grant D/5690-2) au Dr Aliou Dicko (coauteur de ce manuscrit).

## Accès aux données

Les données utilisées dans cet article sont disponibles en informant l'auteur correspondant et en utilisant le lien Internet suivant : [https://drive.google.com/drive/folders/1uZBPCJIPfCkdhsGhfgCWg3tz8rg\\_OEdG?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1uZBPCJIPfCkdhsGhfgCWg3tz8rg_OEdG?usp=sharing)

## Références

- Adomou A. C., 2005. Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: implications for biogeography and conservation. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands, 150 p. <https://edepot.wur.nl/121707>
- Akossou A. Y. J., Houmenou W., Zinsou V., 2016. Caractérisation agromorphologique des graines de teck (*Tectona grandis* L. f.) au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 10 : 559-572. [[Crossref](#)]
- Apema R., Mosouloua D., Kosh-Komba E., Ngoule Y., 2011. Les plantes médicinales utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle par les tradipraticiens à Bangui. Metz, France, Société française d'ethnopharmacologie, 6 p. [http://www.ethnopharmacologia.org/recherche-dans-prelude/?plant\\_id=4552](http://www.ethnopharmacologia.org/recherche-dans-prelude/?plant_id=4552)
- Baraloto C., 2003. Régénération forestière naturelle : de la graine à la jeune tige. Revue Forestière Française, 55 : 179-187. [[Hal-Archives](#)]
- Bellefontaine R., 2005. Pour de nombreux ligneux, la reproduction sexuée n'est pas la seule voie : analyse de 875 cas. Science et changements planétaires / Sécheresse, 16 (4) : 315-317. [[Agritrop](#)]
- Benidire L., Daoui K., Fatemi Z. A., Achouak W., Bouarab L., Oufdou K., 2015. Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L. Journal of Materials and Environmental Science, 6 : 840-851. [[Google Scholar](#)]
- Bewley J. D., 1997. Seed germination and dormancy. The Plant Cell, 9 (7): 1055-1066. [[Crossref](#)]
- Bewley J. D., Black M., 1994. Seeds. Springer, 450 p.



- Bognounou F., Thiombiano A., Oden P. C., Guinko S., 2010. Seed provenance and latitudinal gradient effects on seed germination capacity and seedling establishment of five indigenous species in Burkina Faso. *Tropical Ecology*, 51: 207-220. [[ResearchGate](#)]
- Dagnelie P., 2000. La planification des expériences : choix des traitements et dispositif expérimental. *Journal de la Société Française de Statistique*, 141 : 5-29. [http://www.numdam.org/item/JFSFS\\_2000\\_141\\_1-2\\_5\\_0.pdf](http://www.numdam.org/item/JFSFS_2000_141_1-2_5_0.pdf)
- Dicko A., 2017. Ethnobotanique, structure et phénologie de *Lophira lanceolata* Tiegh. ex Keay (Ochnaceae) au Bénin : Implications pour sa conservation et sa gestion durable. Thèse de doctorat, Université de Parakou, Bénin, 226 p.
- Dicko A., Natta A., Biao S. S., 2017. Connaissances ethnobotaniques et conservation de *Lophira lanceolata* (Ochnaceae) au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Bénin, Annales de l'Université de Parakou*, 21 : 19-35.
- Dicko A., Natta A. K., Biao H. S. S., Akossou A., 2019. Assessing Morphological Traits Variation and Fruit Production of *Lophira lanceolata* (Ochnaceae) in Benin. *American Journal of Plant Sciences*, 10: 1048-1060. [[Scirp](#)]
- Finkelstein R., Reeves W., Ariizumi T., Steber C., 2008. Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 387-415. [[Crossref](#)]
- Footitt S., Marquez J., Schmutz H., Baker A., Theodoulou F. L., Holdsworth M., 2006. Analysis of the role of COMATOSE and peroxisomal beta-oxidation in the determination of germination potential in Arabidopsis. *Journal of Experimental Botany*, 57: 2805-2814. [[Crossref](#)]
- Gonzalez E. J., 1993. Effect of seed size on germination and seedling vigor of *Virola koschnyi* Warb. *Forest Ecology and Management*, 57: 275-281. [[Crossref](#)]
- Guimbo I. D., Ambouta K. J. M., Mahamane A., Larwanou M., 2011. Germination et croissance initiale de *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance, une espèce oléagineuse du Niger. *Tropicultura*, 29 : 88-93. <http://www.tropicultura.org/text/v29n2/88.pdf>
- Hamawa Y., Dona A., Kanmegne O. N., Mbaye-niwah C., Awono J. M. D. K., Mapongmetsem P. M., 2019. Effet du poids de noix et de la dose d'engrais sur la germination et la croissance de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae) dans la savane guinéenne du Cameroun. *Afrique Science*, 15 : 302-312. <http://www.afriquescience.net/PDF/15/5/26.pdf>
- Hessou C., Kakai R. G., Assogbadjo A. E., Odjo T., Sinsin B., 2009. Test de germination des graines de *Caesalpinia bonduc* (L.) Roxb au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3: 310-317. [[Crossref](#)]
- Kadiri A. B., 2008. Evaluation of medicinal herbal trade (Paraga) in Lagos State of Nigeria. *Ethnobotanical Leaflets*, 12: 677-681. [[ResearchGate](#)]
- Kouadio K., Sanogo S., Kouassi E. K., Doffou C. S., 2020. Effet des durées de conservation et du traitement à l'eau sur la germination des graines de *Tieghemella heckelii* Pierre ex A. Chev. (Sapotaceae) en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14: 2880-2892. [[Crossref](#)]
- Kouyate A. M., Dembele U., Lykke A. M., 2015. Les espèces ligneuses locales à huile : une ressource utile pour les communautés locales au Sud du Mali. *Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 : 2754-2763. [[Crossref](#)]
- Leciak E., 2008. Des objets au croisement des disciplines : Les facettes éco-paysagères de Guinée Maritime. *Vertigo*, 8, 11 p. <https://id.erudit.org/iderudit/019969ar>
- Lepiniec L., Debeaujon I., Routaboul J.-M., Baudry A., Pourcel L., Nesi N., et al., 2006. Genetics and Biochemistry of Seed Flavonoids. *Annual Review of Plant Biology*, 57: 405-430. [[Crossref](#)]
- Lompo O., Dimobe K., Lankoandé B., Ouédraogo A., 2019. Performances germinatives des graines de *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause (Anacardiaceae) de provenance sahélo-soudanienne du Burkina Faso. *Tropicultura*, 37 : 2295-8010. [[Crossref](#)]
- Loupe D., 1994. Division de recherche en zones de savanes. Rapport d'activités 1993. CIRAD-Forêt, 15 p. [[Agritrop](#)]
- Mapongmetsem P. M., 2007. *Lophira lanceolata* Tiegh. ex Keay. *PROTA*, 14 : 115-118. [[PROTA4U](#)]
- Nambara E., Nonogaki H., 2012. Seed biology in the 21st century: Perspectives and new directions. *Plant and Cell Physiology*, 53 (1): 1-4. [[Crossref](#)]
- N'Dri A. A., Vroh-Bi I., Kouamé P. L., Bi I. Z., 2011. Bases génétiques et biochimiques de la capacité germinative des graines : implications pour les systèmes semenciers et la production alimentaire. *Sciences & Nature*, 8 (1) : 119-137. <https://www.ajol.info/index.php/scinat/article/download/92849/82273>
- Natta A. K., 2003. Ecological assessment of riparian forests in Benin: Phytodiversity, phytosociology and spatial distribution of tree species. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands, 226 p.
- Nonogaki H., Bassel G. W., Bewley J. D., 2010. Germination – still a mystery. *Plant Science*, 179 (6): 574-581. [[Crossref](#)]
- Nonviho G., Paris C., Muniglia L., Sessou P., Agbangnan D. C. P., Brosse N., et al., 2014. Chemical characterization of *Lophira lanceolata* and *Carapa procera* seed oils: Analysis of fatty acids, sterols, tocopherols and tocotrienols. *Research Journal of Chemical Sciences*, 4 (9): 57-62. [[Hal-Archives](#)]
- Ouédraogo A., Lykke A. M., Lankoandé B., Korbéogo G., 2013. Potentials for promoting oil products identified from traditional knowledge of native trees in Burkina Faso. *Ethnobotany Research and Applications*, 11: 071-083. <https://ethnobotanyjournal.org/index.php/era/article/view/826>
- Patel J. B., Bhatiya V. J., Babariya C. A., Sondarva J., 2016. Effect of seed size on seedling vigour, plant growth, seed yield and its parameters: A review. *Research in Environment and Life Sciences*, 9: 859-864.
- Randrianavosa H., Andrianoelina O., Ramamonjisoa L., 2011. Tolérance à la dessiccation des graines de *Uapaca bojeri*, Euphorbiaceae. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 : 72-79. [[Crossref](#)]

Raveneau M.-P., 2012. Effet des vitesses de dessiccation de la graine et des basses températures sur la germination du pois protéagineux. Thèse, Université d'Angers, France, 138 p. [[Hal-Archives](#)]

Roulon-Doko P., 1980. Bois de feu chez les Gbaya-kara-'bo-doe : essai de méthodologie et d'analyse ethnolinguistique. Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée, 27 : 221-246. [[Crossref](#)]

Sattler S. E., Gilliland L. U., Magallanes-Lundback M., Pollard M., DellaPenna D., 2004. Vitamin E is essential for seed longevity and for preventing lipid peroxidation during germination. The Plant Cell, 16: 1419-1432. [[Crossref](#)]

Sanogo S., Sacandé M., Van Damme P., NDiaye I., 2013. Caractérisation, germination et conservation des graines de *Carapa procera* DC. (Meliaceae), une espèce utile en santé humaine et animale. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 17 : 321-331. [[ResearchGate](#)]

Some L. M., Sary H., Bellefontaine R., 1990. Conservation en chambre froide des graines prétraitées de six espèces sahélo-soudaniennes. Bois et Forêts des Tropiques, 225 : 42-46. [[Crossref](#)]

Touré M. A., Faye E., Malou G., Diatta M., Samba S. A. N., Gas-sama Y. K., 2018. Traits morphométriques et germination des noix de *Anacarde occidentale* L. au Sénégal. Afrique Science, 14 : 215-226. [[ResearchGate](#)]

Willan R. L., 1992. Guide de manipulation des semences forestières dans le cas particulier des régions tropicales. Rome, Italie, FAO, Étude FAO Forêts, 20, 444 p. [[FAO](#)]

Yaaqobi A., El Hafid L., Haloui B., 2009. Étude biologique de *Pistacia atlantica* Desf. de la région orientale du Maroc. Biomatec Echo, 3 : 39-49. [[Google Scholar](#)]

Yélémo B., Yaméogo G., Millogo J., Hien V., 2007. Germination sexuée et dynamique de développement de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst, une espèce agroforestière du Burkina Faso. Science et changements planétaires / Sécheresse, 18 (3) : 185-192. [[Crossref](#)]

### Lotchio et al. – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	A. Dicko, A. K. Natta
Gestion des données	A. Lotchio
Analyse formelle	A. Lotchio
Acquisition du financement	A. Dicko
Méthodologie	A. Lotchio
Supervision	A. K. Natta
Validation	A. Lotchio, A. Dicko, A. K. Natta
Visualisation	A. Lotchio
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	A. Lotchio, A. Dicko, A. K. Natta
Écriture – Révision et édition	A. Lotchio, A. Dicko, A. K. Natta

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad -  
 © Bois et Forêts des Tropiques © Cirad



Cirad - Campus international de Baillarguet,  
 34398 Montpellier Cedex 5, France  
 Contact : [bft@cirad.fr](mailto:bft@cirad.fr) - ISSN : L-0006-579X

# Distribution et traits caractéristiques des populations du palmier rônier *Borassus akeassii* dans le sud-ouest du Burkina Faso

Ali BÉNÉ<sup>1,3</sup>  
Jean-Louis DEVINEAU<sup>2</sup>  
Anne FOURNIER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut de l'environnement et  
de recherches agricoles (INERA) / CNRST  
Département Environnement et Forêts  
(9FJW+P32), Ouagadougou  
Burkina Faso

<sup>2</sup> CNRS (retraité)  
45100 Orléans  
France

<sup>3</sup> Muséum national d'Histoire naturelle  
UMR 208 - MNHN/IRD -  
Patrimoines Locaux  
43 rue Buffon  
75005 Paris  
France

**Auteur correspondant /**  
**Corresponding author:**  
Ali BÉNÉ - [bene\\_ali@yahoo.fr](mailto:bene_ali@yahoo.fr)



## Photos 1.

A et B. Pétioles et fruits mûrs de *Borassus akeassii*. C et D. Pétioles et fruits mûrs de *Borassus aethiopum*. Wolokonto (Cascades), juillet 2020 ; Pognoa (Kompienga), mars 2007.  
A and B. Petioles and mature fruits of *Borassus akeassii*. C and D. Petioles and mature fruits of *Borassus aethiopum*. Wolokonto (Cascades), July 2020; Pognoa (Kompienga), March 2007.  
Photos A. Béné.

Doi : 10.19182/bft2022.353.a36993 – Droit d'auteur © 2022, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 25 juin 2021 ;  
date d'acceptation : 21 avril 2022 ; date de publication : 1<sup>er</sup> septembre 2022.



Licence Creative Commons :  
Attribution - 4.0 International.  
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

## Citer l'article / To cite the article

Béné A., Devineau J.-L., Fournier A., 2022. Distribution et traits caractéristiques des populations du palmier rônier *Borassus akeassii* dans le sud-ouest du Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, 353 : 17-29. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2022.353.a36993>

## RÉSUMÉ

### Distribution et traits caractéristiques des populations du palmier rônier *Borassus akeassii* dans le sud-ouest du Burkina Faso

*Borassus akeassii* Bayton, Ouédr. et Guinko est une espèce à usage multiple, cultivée par diverses sociétés dans le sud-ouest du Burkina Faso. Ces rôneraies sont aujourd'hui affectées dans leur structure par de profonds changements sociologiques et économiques. Cet article traite de la répartition des parcs à *B. akeassii* et de leurs principales caractéristiques sociétales et environnementales dans cette région. Un recensement des rôneraies le long de parcours sur les voies de circulation a été effectué ainsi que des enquêtes auprès des habitants. Plus de 240 parcs agroforestiers à *B. akeassii* ont ainsi été recensés et cartographiés dans les deux régions administratives des Cascades et des Hauts-Bassins. Les rôneraies les plus grandes et les plus fortement exploitées se rencontrent dans les terroirs de la société Karaboro, notamment dans le département de Banfora. Dans toute la région d'étude, la culture du rônier est pratiquée surtout dans les espaces réservés aux cultures pluviales, y compris les alentours des habitations. La répartition des populations de rôniers est gouvernée par de nombreux facteurs, mais les plus déterminants sont l'histoire des sociétés rurales ainsi que l'intensité et la diversité de leurs usages de l'espèce.

**Mots-clés :** *Borassus akeassii*, distribution, mise en culture, palmier rônier, sociétés locales, Burkina Faso.

## ABSTRACT

### Distribution and characteristics of *Borassus akeassii* populations in south-west Burkina Faso

The African fan palm, *Borassus akeassii* Bayton, Ouédr. and Guinko, is a species with multiple uses cultivated by various societies in south-western Burkina Faso. The structure of these palm groves is being affected by profound sociological and economic changes. This article discusses the distribution of *B. akeassii* parklands and their main societal and environmental characteristics in this region. We carried out a census of the fan palms growing along roadsides as well as surveys among the inhabitants. More than 240 *B. akeassii* agroforestry parks were identified and mapped in the two administrative regions of Cascades and Hauts-Bassins. The largest and most heavily exploited palm groves are found in the lands of the Karaboro society, particularly in the Banfora area. Throughout the study area, these fan palms are mainly cultivated in areas used for rainfed crops, including around dwellings. Their distribution is governed by many factors, but the most important are the history of rural societies and the intensity and diversity of their use of the species.

**Keywords:** *Borassus akeassii*, distribution, cultivation, African fan palm, local societies, Burkina Faso.

## RESUMEN

### Distribución y características de las poblaciones de palma de Palmira africana *Borassus akeassii* en el suroeste de Burkina Faso

*Borassus akeassii* Bayton, Ouédr. y Guinko es una especie de múltiples usos cultivada por varias empresas en el suroeste de Burkina Faso. La estructura de estos cultivos de palmeras se ve ahora afectada por profundos cambios sociológicos y económicos. Este artículo analiza la distribución de los parques de *B. akeassii* y sus principales características sociales y ambientales en esta región. Se realizó un censo de los palmerales a lo largo de las carreteras, así como encuestas a los habitantes. Se han identificado y cartografiado más de 240 parques agroforestales de *B. akeassii* en las dos regiones administrativas de Cascades y Hauts-Bassins. Los palmerales más grandes y más explotados se encuentran en las tierras de la compañía Karaboro, especialmente en la zona de Banfora. En toda el área de estudio, estas palmeras se cultivan principalmente en las zonas de cultivo pluvial, incluidas las inmediaciones de las viviendas. La distribución de sus poblaciones se rige por muchos factores, pero los más importantes son la historia de las sociedades rurales y la intensidad y diversidad del uso de la especie.

**Palabras clave:** *Borassus akeassii*, distribución, cultivo, palma de Palmira africana, compañías locales, Burkina Faso.

## Introduction

Une nouvelle espèce de rônier, *Borassus akeassii*, a été décrite au Burkina Faso en 2006 (Bayton *et al.*, 2006 ; Bayton et Ouédraogo, 2009), ce taxon étant auparavant confondu avec *Borassus aethiopicum*. Un événement de ce type devant très rare, cette plante possède donc une valeur emblématique et patrimoniale pour le pays. Or l'aire de répartition de *B. akeassii* et son écologie restent mal connues (Stauffer *et al.*, 2017). Sa présence est, selon Bayton (2007), attestée au Sénégal et probable au Congo-Kinshasa. Elle est aussi probable au Mali, où *B. aethiopicum* var. *domestica* A. Chev., décrit dans la région de Kayes (Chevalier et Dubois, 1938), peut lui être rapporté (African Plant Database, 2021). Par ailleurs, *B. akeassii* correspond au *Borassus* sp., décrit par Aké Assi et Guinko (1996) et par Arbonnier (2002), dont la répartition serait, d'après ces auteurs, assez large de l'Afrique de l'Ouest à l'Afrique centrale. Selon Salako *et al.* (2015), l'espèce n'a cependant pas été trouvée au Bénin

Au Burkina Faso, on sait que les peuplements de rôniers les plus importants se trouvent dans l'est et le sud-ouest du pays (Guinko et Ouédraogo, 2005 ; IFN, 2016), mais dans les recensements la distinction n'est souvent pas faite entre les deux taxons. Les deux espèces se distinguent cependant facilement sur le terrain d'après les caractéristiques du pétiole et du fruit. Le pétiole est noirâtre et porte des épines larges chez *B. aethiopicum* tandis qu'il est vert chez *B. akeassii*, les épines pétiolaires étant petites ou absentes. À maturité, les fruits sont jaune-orangé chez *B. aethiopicum* tandis qu'ils sont verts chez *B. akeassii* (planche 1). L'apex du fruit est plat ou déprimé chez *B. aethiopicum*, mais pointu chez *B. akeassii* (Bayton et Ouédraogo, 2009).

Les rôniers du sud-ouest du Burkina Faso sont connues depuis longtemps parmi les plus remarquables de l'Ouest africain (Chevalier, 1930 ; Bellouard, 1950 ; Nicolas, 1959). Elles ont d'abord été considérées comme composées de *B. aethiopicum* ou de *B. flabellifer* et l'on sait qu'une partie au moins de ces rôniers sont cultivées par les populations locales depuis des siècles (Tauxier, 1933 ; Hébert, 1969). Par ailleurs, divers travaux ont été menés sur les utilisations et l'intérêt économique et social du rônier dans le sud-ouest du Burkina Faso (Portères, 1964 ; Sanou, 2003 ; Yaméogo *et al.*, 2008 ; Coulibaly, 2017). Néanmoins, comme c'est d'ailleurs le cas pour de nombreux parcs traditionnels, ces rôniers sont aujourd'hui menacés dans leur existence et leurs usages par de profonds changements sociologiques et économiques (Cassou, 1996).

Divers enjeux environnementaux, patrimoniaux, économiques et sociétaux justifient donc de porter un intérêt renouvelé aux rôniers du sud-ouest du Burkina Faso. Il est notamment utile de clarifier leur distribution et leur composition (en vérifiant si les deux taxons y coexistent) en relation avec la variabilité des conditions physiographiques et des sociétés humaines.

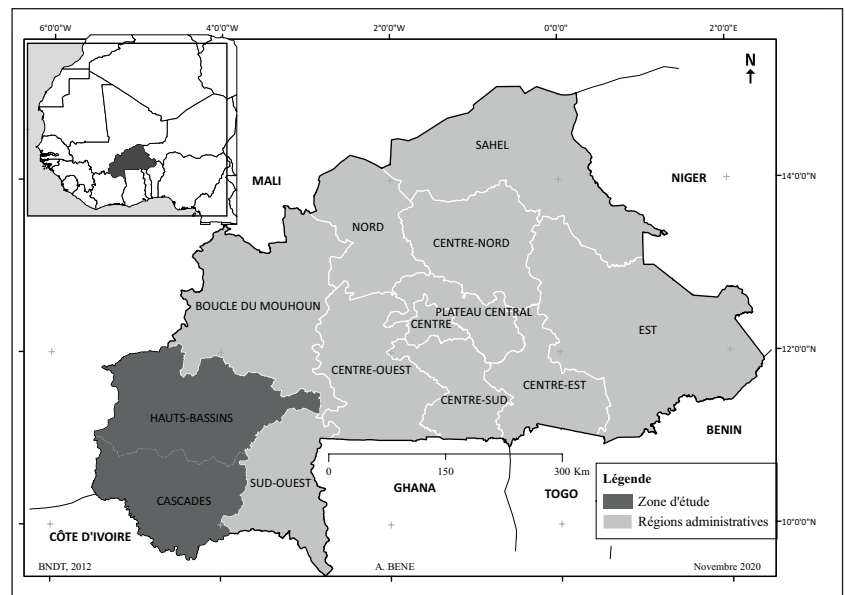
## Matériel et méthodes

### Sites d'étude

Située dans le sud-ouest du Burkina Faso entre 9°35'–12°05'N et 2°50'–5°35'W (figure 1), la zone d'étude correspond aux deux régions administratives des Cascades et des Hauts-Bassins. Celles-ci se trouvent dans la partie méridionale de la zone climatique soudanienne, où le régime climatique est tropical à deux saisons : une saison sèche (novembre à mai) et une saison humide (juin–octobre), avec des hauteurs d'eau recueillies pouvant dépasser 1100 mm par an (Thiombiano et Kampmann, 2010). Le secteur considéré se présente comme une zone de transition entre les climats soudanien et guinéen ; la végétation naturelle y est dominée par des savanes boisées et des forêts claires. Le cortège floristique des ligneux y est le plus fourni du pays, les espèces végétales les plus couramment rencontrées sont *Vitellaria paradoxa*, *Detarium microcarpum*, *Isobertinia doka*, *Terminalia laxiflora*, *Piliostigma thonningii* (IFN, 2016). Cette végétation naturelle subit de fortes pressions anthropiques du fait de l'essor de l'arboriculture et des superficies emblavées. Les sociétés de la région appartiennent aux trois grandes familles linguistiques, *Mande*, *Gur* et *Kru*.

### Méthodes d'étude

L'étude se fonde sur le recensement le plus exhaustif possible des rôniers, la documentation de variables écologiques et d'usages ainsi que sur l'identification des sociétés utilisatrices.



**Figure 1.**  
Localisation de la zone d'étude au Burkina Faso.  
Location of the study area in Burkina Faso.

## Méthode et dispositif de collecte

Le recensement des parcs à rônier a été réalisé, le long d'itinéraires préalablement définis, selon une méthode inspirée des itinéraires de recensement utilisés dans de nombreux travaux d'inventaire de la végétation (Wong, 2000; Sheuyange *et al.*, 2005; Azihou *et al.*, 2013). Les itinéraires ont été établis de manière à recouper le plus possible d'unités d'occupation des terres et de géomorphologies différentes, tout en tenant compte des contraintes d'accessibilité : présence de routes, de pistes, de villages et de sentiers praticables (figure 2). Les bases de données topographiques (BNDT, 2014) et d'occupation des terres (BDOT, 2012) ont été particulièrement utiles pour effectuer ce choix. Pour obtenir un recensement le plus exhaustif possible des rôniers et rôneraies le long des itinéraires principaux, il a aussi été fait appel aux connaissances des habitants de la région, qui nous ont signalé des itinéraires supplémentaires où se trouvaient des rôniers.

### Variables collectées et analyse des données

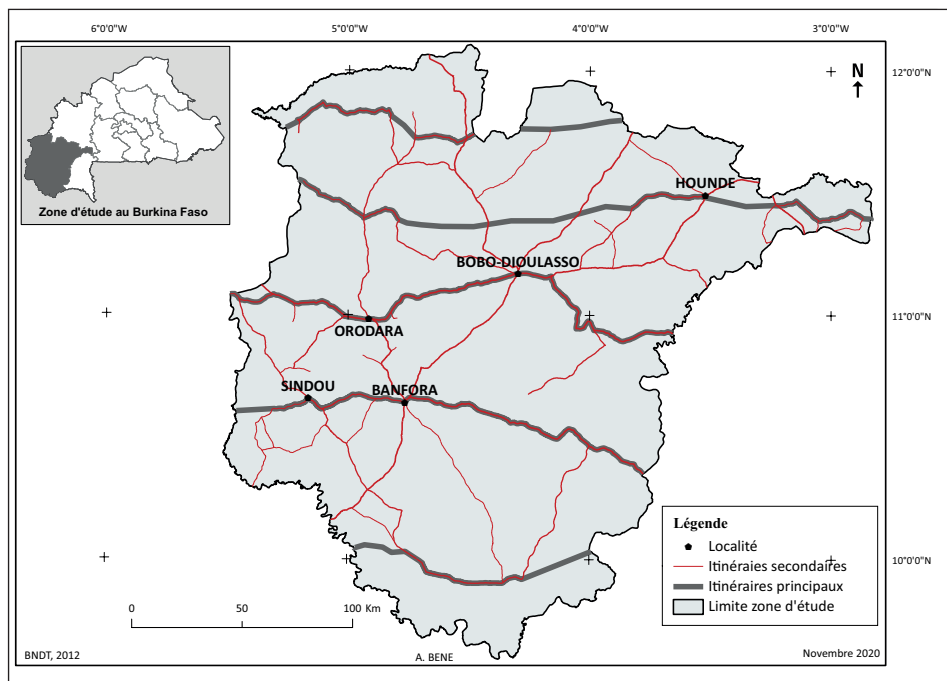
Chaque rôneraie a d'abord été repérée sur les différents parcours à l'aide d'un GPS. Les coordonnées de plusieurs points ont été enregistrées sur le pourtour de chaque parc à rônier pour permettre d'en calculer ensuite la superficie. Pour chaque rôneraie, des descripteurs faciles à renseigner ont été consignés : exploitation humaine visible (présence de feuilles coupées et de traces d'exploitation du vin), abondance relative des individus adultes et juvéniles, estimation de la densité et de la configuration (individus plus ou moins alignés).

Nettement perceptibles dans la plupart des rôneraies, ces traces témoignent en effet du degré d'utilisation du rônier. Des étranglements du stipe formés suite à l'exploitation du végétal ont été rapportés dans maints travaux (Belouard, 1950; Portères, 1964). Cassou (1996) considère également que les rôniers exploités pour la sève sont marqués de nombreuses brûlures et cicatrices. Mialhe (1973) évoque des rôniers entièrement défoliés, fréquemment rencontrés sur les champs de culture au Niger, qui témoignent par leur aspect de l'usage important des feuilles par les habitants.

L'intensité de l'utilisation humaine a été évaluée en trois classes selon l'importance des traces visibles : elle a été qualifiée de faible lorsqu'il n'y avait pas de traces ou que celles-ci n'affectaient que quelques individus, de moyenne lorsque les traces affectaient moins de la moitié des rôniers, de forte lorsque les traces affectaient plus de la moitié des rôniers. La densité de la rôneraie a été estimée visuellement et renseignée en trois classes : faible (moins de 10 pieds/ha), moyenne (entre 10 et 100 pieds/ha) et forte (plus de 100 pieds/ha). Ont par ailleurs été relevées des informations relatives au type d'environnement dans lequel se trouvait la rôneraie (utilisation des terres, géomorphologie, sol) ainsi qu'à la société la détenant et l'exploitant.

Toutes ces données, accompagnées de leurs coordonnées géographiques, ont été introduites dans un système géoréférencé (ArcGIS 10.5). Chaque rôneraie a ainsi pu être géolocalisée, circonscrite et la superficie en a été calculée. Des données issues des bases de données nationales récentes (BDOT, BNDT et Bureau national des sols, BUNASOLS) ont également été introduites pour rattacher à chaque rôneraie une classe morphopédologique, une unité

d'occupation des terres et un groupe social d'exploitants. La concordance des descripteurs issus de ces bases avec les observations de terrain a été vérifiée. L'existence de relations entre les caractéristiques des rôneraies et les conditions anthropiques et physiographiques a été recherchée au moyen d'analyses statistiques descriptives de base et d'une analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM), qui ont été effectuées avec le logiciel SPSS Statistics 20. Les descripteurs retenus pour cette analyse ont été, d'une part, la taille et la densité des rôneraies, les sociétés détentrices observées sur le terrain et, d'autre part, le type d'occupation des terres, la géomorphologie et le type de sol observés et classés selon les classes des bases de données nationales. L'AFCM a ainsi été réalisée sur 7 variables dont 2 relatives aux rôneraies (superficie et densité), 3 aux exploitants (société, traces d'exploitation et utilisation des terres) et 2 aux données morphopédologiques (géomorphologie et type de sol). Ces variables présentent au total 36 modalités.



**Figure 2.**  
Itinéraires parcourus.  
Routes travelled.

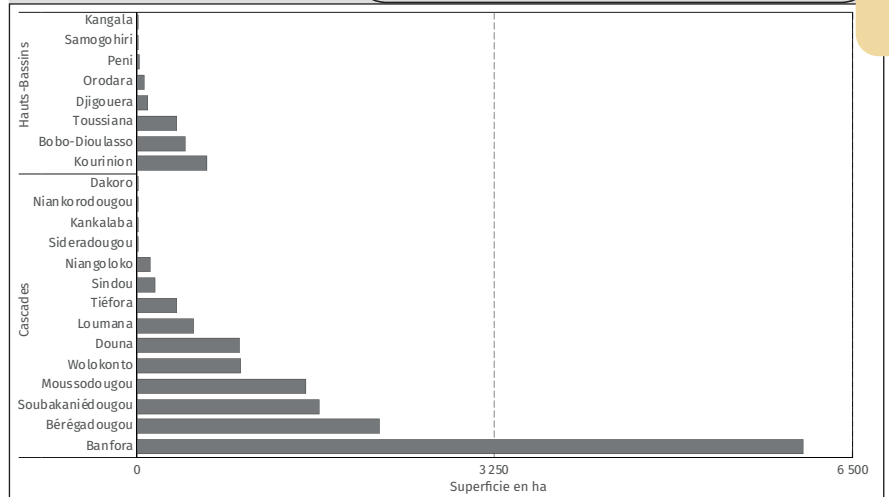
## Résultats

### Distribution des rôneraies dans l'ensemble de la région étudiée

Nos investigations de terrain menées pendant trois ans ont permis de recenser et de cartographier plus de 240 parcs à *B. akeassii* dans la zone d'étude (figure 3). Des centaines de pieds isolés ont également été repérés, notamment dans les champs, près des habitations, dans les savanes, le long de cours d'eau et même dans les espaces réservés aux cultures maraîchères.

Par ailleurs, aucune population ni aucun pied isolé de *B. aethiopum* n'ont été rencontrés le long de nos parcours. En outre, un seul type de rônier (dont les fruits restent verts à maturité) est reconnu par les populations. Toutefois, l'inventaire forestier national dans la province de la Comoé (région des Cascades) (IFN, 2016) mentionne la présence d'individus isolés de *B. aethiopum*. Si l'espèce a été correctement identifiée, on peut penser que ces pieds ont été introduits.

La superficie des rôneraies de *B. akeassii* va de quelques milliers de mètres carrés à des milliers d'hectares. Près de 90 % des rôneraies se trouvent dans la région des Cascades et c'est le département de Banfora qui en détient la plus grande part (figure 4). Les arboriculteurs du rônier les plus habiles de l'ouest du Burkina Faso vivent dans ce département qui est peuplé par différentes sociétés, notamment des Karaboro, des Turka, des Gouin, des Toussian et des Tiéfo. Dans la région des Hauts-Bassins,



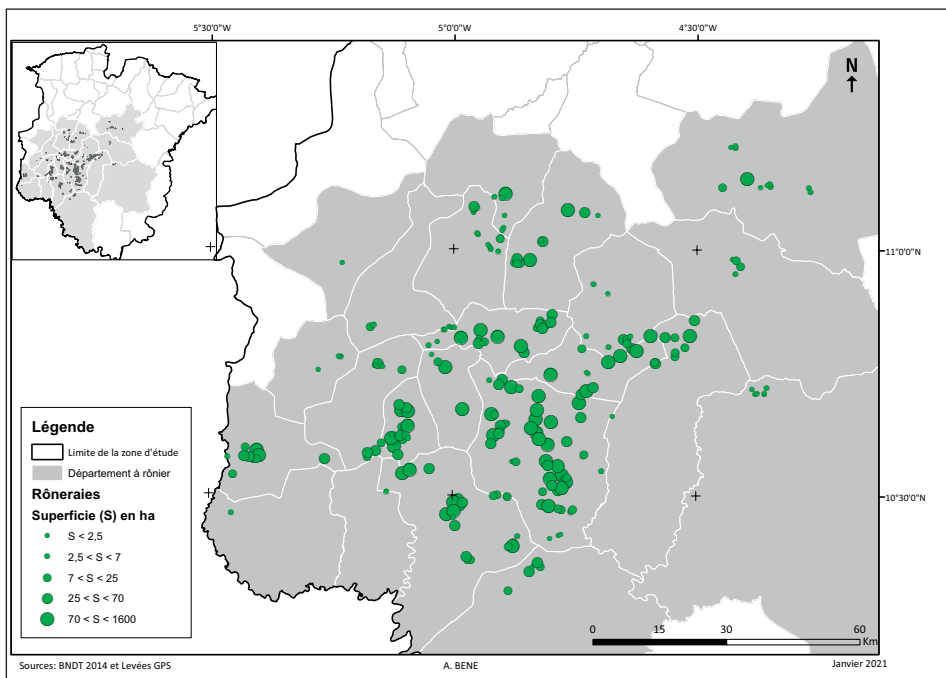
**Figure 4.** Superficie totale de l'ensemble des rôneraies recensées selon les départements administratifs.  
 Total area of all roan woodlands surveyed by administrative department.

ce sont les départements administratifs de Kourinon, Bobo-Dioulasso et Toussiana qui possèdent le plus grand nombre de rôneraies.

L'AFCM permet d'évaluer les relations entre les rôneraies et les descripteurs physiques et sociaux du milieu. Elle montre une cohérence interne satisfaisante des données puisque l'indice alpha de Cronbach, d'une valeur de 0,787 pour la dimension 1 (tableau I), dépasse le seuil minimum de 0,70 (Laveault, 2012). Plus de 73 % de la totalité des informations sont expliquées par les deux premières dimensions factorielles. La première dimension est déterminée surtout par les variables «traces d'exploitation», «densité», «superficie» et «ethnie», la seconde dimension surtout par les variables «géomorphologie» et «type de sol», mais aussi par la variable «ethnie». Cette dernière, tout comme la variable «occupation des terres», apparaît discriminante dans les deux premières dimensions (figure 5).

Il existe une bonne corrélation positive entre la densité, la taille des rôneraies et leur intensité d'exploitation (tableau II). La variable «ethnie» apparaît aussi corrélée à l'intensité d'exploitation des rôneraies et, en outre, au sol sur lequel elles croissent. En revanche, les variables physiographiques (géomorphologie, sols) sont peu corrélées aux variables autres que l'ethnie.

Le premier axe du graphe des modalités oppose ainsi les rôneraies de superficie grande et moyenne (supérieures à 7 ha), denses et fortement exploitées aux rôneraies de faible superficie (inférieures à 7 ha) peu exploitées (figure 6).



**Figure 3.** Distribution des rôneraies à *Borassus akeassii* recensées dans l'ouest du Burkina Faso.  
 Distribution of *Borassus akeassii* roaneries in western Burkina Faso.

Sources: BNDT 2014 et Levées GPS

A. BENE

Janvier 2021

**Tableau I.**  
Récapitulatif des modèles.  
*Summary of models.*

Dimension	Alpha de Cronbach	Variance expliquée		
		Total (valeur propre)	Inertie	Pourcentage
1	0,787	3,069	0,438	43,846
2	0,598	2,050	0,293	29,291
Total		5,120	0,731	
Moyenne	0,711 <sup>a</sup>	2,560	0,366	36,569 a.

La valeur alpha de Cronbach moyenne est basée sur la valeur propre moyenne.  
*The average Cronbach's Alpha value is based on the average eigenvalue.*

L'axe 2 discrimine principalement les glacis de pente inférieure, auxquels se rattachent des sols hydromorphes et des rônneraies pour la plupart cultivées autour des habitations et situées dans les terroirs Sénoufo et Tiéfo.

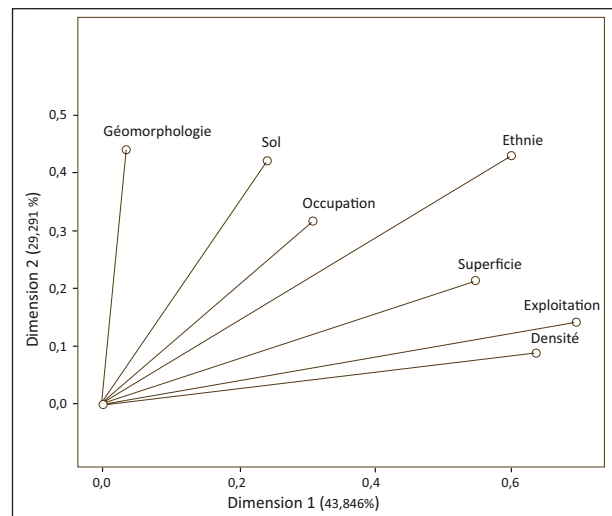
Les rônneraies denses et fortement exploitées sont liées à la société Karaboro et dans une moindre mesure à la société Turka. Le Karaborola (pays Karaboro) détient à lui seul plus de 30 % des rônneraies de la région. Plus de 4 000 ha de rônneraies sont ainsi situés dans la région des Cascades (figure 7). Ce type de rônneraies s'observe aussi en pays Turka, notamment dans les villages de Wolokonto et de Moussodougou.

Des rônneraies plus modestement exploitées, de densité et de superficie moyennes (7 à 25 ha), s'observent dans les sociétés Gouin et Warra.

Des rônneraies peu exploitées et clairsemées sont présentes dans diverses sociétés. C'est notamment le cas chez les Sénoufo Sicité et les Jula, qui ont nettement moins de rônneraies que les autres. Ces rônneraies viennent en « savane » ou sont associées à des vergers (manguiers, anacardiens, orangers) et elles sont situées dans les terroirs Toussian, Bobo, Sèmè et Jula, où la culture se pratique sur des glacis de pente sur divers types de sols.

### Lien des rônneraies avec les diverses unités d'occupation des terres

La culture du rônier n'est pratiquée quasiment que dans quatre des 13 unités d'occupation des terres reconnues par la BDOT de 2012 dans la zone étudiée : cultures pluviales et territoires agroforestiers, habitations, savanes et vergers (figure 8). Plus de 90 % des rônneraies sont plantées dans les espaces habituellement réservés aux cultures pluviales et dans les territoires agroforestiers ainsi que dans les espaces habités. Les rônneraies des « savanes » sont en réalité des champs abandonnés ou des jachères.



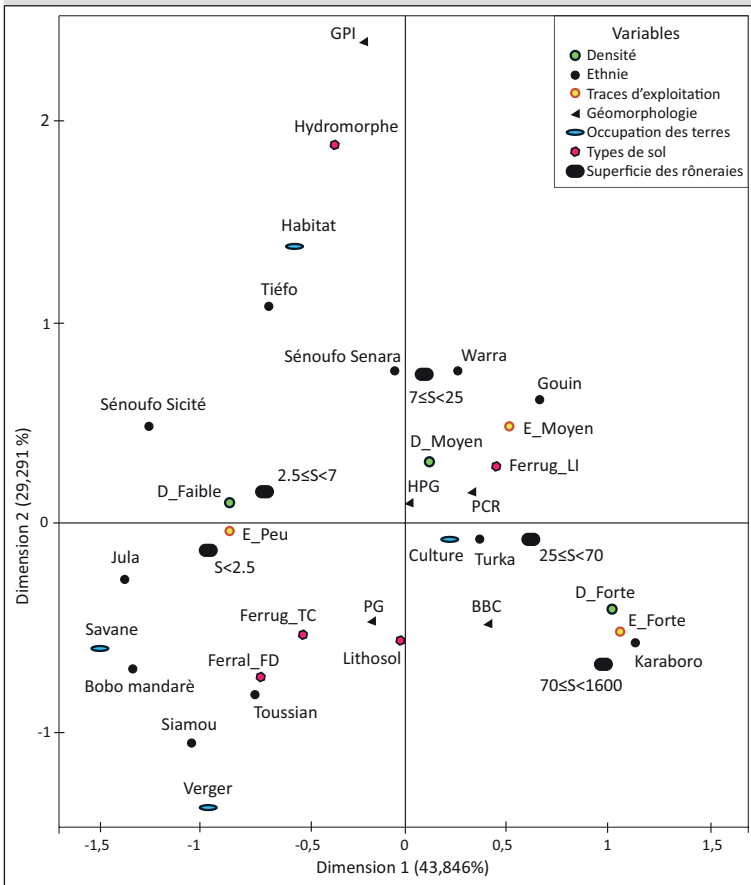
**Figure 5.**

Diagramme de contribution des variables à l'inertie de l'axe 2.  
Diagram of the contribution of variables to the axis inertia.

**Tableau II.**  
Matrice de corrélation des variables.  
*Correlation matrix of variables.*

Variables	Superficie	Densité	Traces d'exploitation	Occupation des terres	Géomorphologie	Sol	Société
Superficie	1,000	0,614	0,593	0,254	- 0,048	0,219	0,395
Densité	0,614	1,000	0,667	0,350	0,043	0,141	0,472
Traces d'exploitation	0,593	0,667	1,000	0,356	0,088	0,250	0,542
Occupation des terres	0,254	0,350	0,356	1,000	0,108	0,176	0,362
Géomorphologie	- 0,048	0,043	0,088	0,108	1,000	0,259	0,163
Sol	0,219	0,141	0,250	0,176	0,259	1,000	0,503
Société	0,395	0,472	0,542	0,362	0,163	0,503	1,000



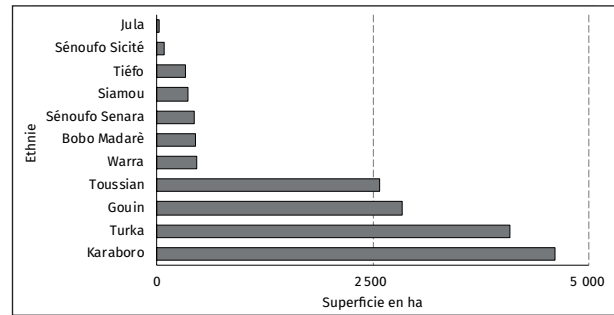


**Figure 6.**  
 Diagramme des points de modalité.  
 D = densité, E = exploitation, < S < = superficie comprise entre, BCC = buttes et collines cuirassés, HPG = haut de pente de glacis, GPI = glacis de pente inférieure, PCR = plateaux et collines rocheux, PG = pente de glacis, Ferral\_FD = ferrallitiques faiblement désaturés typiques modaux, Ferrug\_LI = ferrugineux tropicaux lessivés indurés, Ferrug\_TC = ferrugineux tropicaux lessivés à taches et à concrétions.  
*Diagram of modality points.*  
 D = density, E = exploitation, < S < = area between, BCC = battleship buttes and hills, HPG = upper glacis slope, GPI = lower glacis slope, PCR = rocky plateaus and hills, PG = glacis slope, Ferral\_FD = typical modal low desaturated ferrallitic, Ferrug\_LI = indurated leached tropical ferruginous, Ferrug\_TC = speckled and concretioned leached tropical ferruginous.

### Lien des rôneraies avec le substratum géomorphologique et pédologique

Les caractéristiques des rôneraies apparaissent peu ou pas corrélées avec le substratum géomorphologique et pédologique (tableau II) ; plus de 85 % de ces rôneraies sont cependant cultivées sur des glacis et près de la moitié de la superficie en rôneraie se trouve sur de hauts et moyens glacis (figure 9).

Plus de 80 % des rôneraies se rencontrent sur des sols ferrugineux tropicaux (figure 10). Le sable, le sable argileux, le grès argileux, qui correspondent à la majorité des sols de cette partie du pays (Fauck, 1962), y sont les matériaux



**Figure 7.**  
 Superficie globale des rôneraies recensées dans les différentes sociétés.  
 Overall area of roaneries identified in the different companies.

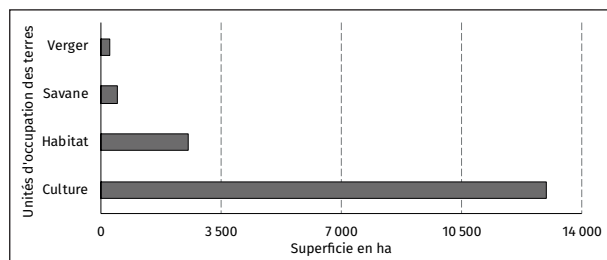
dominants. C'est sur ces sols dominants que se trouvent les rôneraies les plus vastes et les mieux exploitées. Environ 10 % seulement des rôneraies sont cultivées sur des sols ferrallitiques, substrat qui coïncide avec les territoires où habitent les sociétés chez qui la culture du rônier n'est pas bien développée. Seulement 5 % des rôneraies sont cultivées sur des sols minéraux bruts, principalement des lithosols sur roches et cuirasses, et 3 % sur des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface.

Topographiquement très accidentée, la région d'étude est caractérisée par des reliefs aux formes variées, marqués par des escarpements dont le plus important est celui de la falaise de Banfora d'une altitude de 450 à 500 m. Certaines rôneraies sont ainsi situées sur des collines (par exemple à Fabédougou) et d'autres dans des bas-fonds (à Nyofila).

### Structure et état des peuplements de rôniers

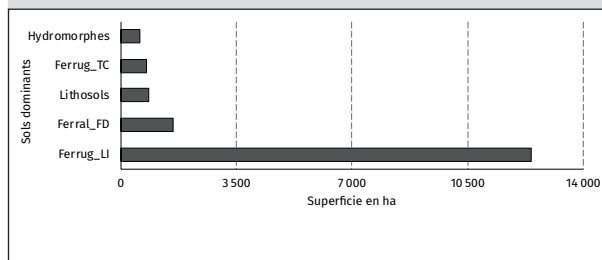
Les rôneraies sont généralement constituées d'individus d'âges et de taille divers, sans organisation spatiale particulière. Cependant, quelques plantations en ligne ou placées sur des limites de champ ont été observées. Dans la plupart des rôneraies, les individus adultes sont bien plus nombreux que les juvéniles, mais ces proportions varient sensiblement d'une société à une autre. En pays Karaboro (villages de Tiékouna et Sitiéna), les jeunes pieds de rônier sont rares ainsi que chez les Gouin (Gouindougouba, Siniéna) et chez les Turka (Douna). La régénération est également quasi inexistante chez les Bobo. En revanche, on observe une forte présence de juvéniles chez les Toussian, notamment à Fabédougou. La rareté, voire l'absence de jeunes pieds dans les terroirs de certaines sociétés s'explique par l'absence de semis et d'entretien des jeunes individus, ce qui peut annoncer un vieillissement voire une disparition des rôneraies, notamment chez les Karaboro dont l'intérêt pour la plante semble diminuer (Béné et Fournier, 2021a).

Plus de 95 % des rôneraies présentent des traces d'exploitation plus ou moins marquées. L'extraction du vin fait apparaître le long du stipe des bourrelets bien visibles qui



**Figure 8.**  
Superficie totale de l'ensemble des rôneraies recensées dans les diverses unités d'occupation des terres.  
*Total area of all roaster woodlands identified in the various land use units.*

alternent avec des étranglements réguliers (photos 2). Les palmes sont alors presque toutes coupées, ce qui confère aux plantes une physionomie particulière. Il est ainsi facile de distinguer les pieds exploités pour le vin, les autres étant généralement réservés pour d'autres usages (poutres, ponts). L'exploitation des pétioles, destinés à l'exportation dans les grandes villes et pays voisins pour la fabrication d'ustensiles de cuisine (tamis) ou d'objets artisanaux, est très visible dans la quasi-totalité des rôneraies rencontrées. Des différences d'utilisation du rônier entre sociétés se reflètent clairement dans l'aspect des rôneraies. Les stipes troués et annelés de la plupart des rôniers en pays Karaboro (Tiékouna) témoignent d'une forte activité d'extraction de sève. *A contrario*, à Wolokonto chez les Turka, le faible nombre ou l'absence de palmes sur les rôniers est nettement perceptible, même si l'extraction de sève se fait aussi. Les traces d'exploitation sont relativement rares à Gouindougouba chez les Gouin, où les rôneraies sont de moins en moins valorisées.



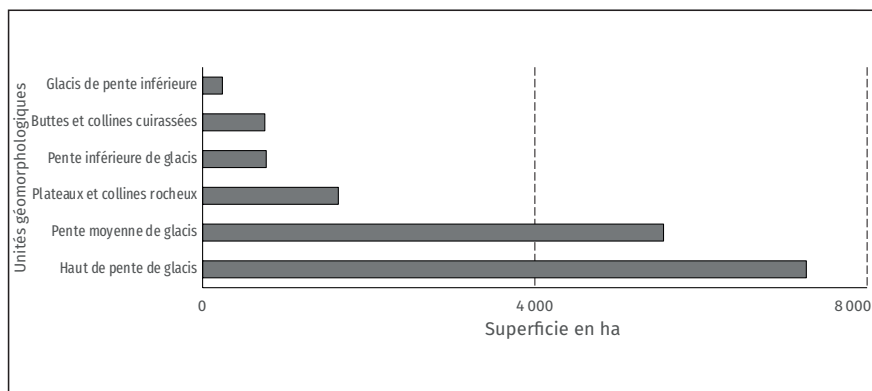
**Figure 10.**  
Superficie totale de l'ensemble des rôneraies recensées en fonction des types de sols. Ferral\_FD = ferrallitiques faiblement désaturés typiques modaux, Ferrug\_LI = ferrugineux tropicaux lessivés indurés, Ferrug\_TC = ferrugineux tropicaux lessivés à taches et à concrétions.  
*Total area of all roaster plantations surveyed according to soil type. Ferral\_FD = typical modal low desaturated ferrallitic, Ferrug\_LI = indurated leached tropical ferruginous, Ferrug\_TC = spotted and concretioned leached tropical ferruginous.*

## Discussion

La géomorphologie et la nature du sol apparaissent peu déterminantes pour la distribution du rônier dans la zone considérée. La majorité des rôneraies sont établies sur des sols à texture sableuse ou sablo-argileuse, mais certaines se trouvent aussi sur des lithosols et des sols hydromorphes, ce qui est en accord avec les observations de divers auteurs. Ainsi, dans la même région, selon Moreau (1967), si *B. akeassii* peut se développer sur divers types de sols, il vient particulièrement bien sur des sols sableux; pour Sourabié (1979), les rôneraies se rencontrent sur des sols peu évolués. Arbonnier (2002) et Bayton *et al.* (2006) indiquent que la plante a des affinités avec les positions topographiques basses. D'après Giffard (1967) ou encore Gbesso *et al.* (2014), le rônier se tient indifféremment dans des dépressions inondées périodiquement, dans des terrains marécageux, au bord des rivières et des lacs ou en terrain sec sableux, argileux ou pierreux. Notre étude confirme que *B. akeassii* peut occuper une large gamme d'habitats.

Il est *a priori* difficile de dire si un environnement favorable a encouragé la culture du rônier ou si des groupes humains attachés à cette culture se sont établis préférentiellement dans des environnements adéquats. Toutefois, Béné et Fournier (2021b) montrent que l'installation de diverses sociétés de la région possédant le rônier a précédé parfois de plusieurs siècles l'implantation des rôneraies. Ainsi le choix d'implantation des rôneraies était-il contraint dès le début pour chacune de ces sociétés.

Nous avons montré que les rôneraies font partie intégrante des espaces de culture pluviale. La culture du rônier est pratiquée dans des champs de maïs, de mil, de sorgho, d'arachide, de niébé, de coton, etc. On peut se demander ce qui motive une telle association : est-elle favorable aux autres cultures annuelles ou au rônier? On peut effectivement supposer avec Cassou (1996) que le désherbage régulier et



**Figure 9.**  
Superficie totale de l'ensemble des rôneraies recensées en fonction des unités géomorphologiques.  
*Total area of all identified roaster woodlands according to geomorphological units.*



**Photos 2.**

E. Stipes de rônier soumis à l'exploitation de la sève.  
 F. Stipe non exploité. Banfora, juin 2020.

E. Stipes of roasted tree subjected to sap harvesting.  
 F. Unharvested stipe. Banfora, June 2020.  
 Photos A. Béné.

l'épandage de fumure dans le champ peuvent avoir un effet positif sur le développement des rôniers. Yaméogo *et al.* (2016) estiment également, d'après leurs enquêtes dans le centre-ouest du pays, que les avantages de cette interaction rônier-cultures pluviales sont nombreux. Est-ce pour autant la principale raison ou la seule pour associer le rônier aux céréales? Lors des relevés et des enquêtes, les cultivateurs de la région que nous avons étudiée ont au contraire émis l'opinion que l'association rônier-cultures pluviales était insignifiante ou neutre pour ces deux cultures. Seules des études systématiques permettraient de trancher.

On observe assez fréquemment le rônier associé à d'autres espèces arborées et mélangé à divers degrés avec elles : ligneux exotiques cultivés et espèces natives épargnées. Ces autres espèces sont presque toujours des plantes à fort intérêt économique qui fournissent des produits forestiers non ligneux. Les plus courantes sont *Mangifera indica* (manguier), *Faidherbia albida*, *Parkia biglobosa* (néré), *Vitellaria paradoxa* (karité), *Anacardium occidentale* (anacardier), *Elaeis guineensis* (palmier à huile), *Tamarindus indica* (tamarinier) *Ficus sycomorus* et *Detarium microcarpum*. Comme nous l'ont expliqué les habitants, ces rôneraies sont en cours de reconversion en vergers et cette configuration témoigne des mutations agroéconomiques en cours dans le sud-ouest du Burkina. D'après eux, les nombreux pieds isolés observés çà et là seraient souvent les derniers témoins d'anciennes rôneraies arrivées au dernier stade de leur régression, mais ils peuvent aussi être des plantes issues de semences dispersées par l'homme, des animaux ou même le ruissellement des eaux. À l'instar de ce que rapporte Pélissier (1966) pour les paysages agraires de Casamance au Sénégal,



**Photo 3.**

Pétioles de rôniers *Borassus akeassii* entassés et prêts à être transformer.

Petioles of *Borassus akeassii* rônier palm trees piled up and ready to be processed.

Photo A. Béné, Banfora, février 2020.



**Photo 4.**

Pieds de rônier *Borassus akeassii* possédant des fruits.  
*Borassus akeassii* with fruits.

Photo A. Béné, Wolokonto, juin 2020.

**Photo 5.**

Peuplements de rôniers à *Borassus akeassii* à Gouindougouba (commune de Soubakaniédougou) dans le sud-ouest du Burkina Faso.  
*Borassus akeassii* rônier palm tree stands in Gouindougouba (Soubakaniédougou commune) in southwest Burkina Faso.  
Photo A. Béné, Gouindougouba, avril 2019.

**Photo 6.**

Peuplements de rôniers à *Borassus akeassii* à Wolokonto dans le sud-ouest du Burkina Faso.  
*Borassus akeassii* rônier palm tree stands at Wolokonto in southwest Burkina Faso.  
Photo A. Béné, Wolokonto, février 2020.

**Photo 7.**

Partie sommitale d'un pied de *Borassus akeassii* avec des fruits à Tiékouana (commune de Banfora) dans le sud-ouest du Burkina Faso.  
*Top part of a Borassus akeassii* plant with fruits in Tiékouana (commune of Banfora) in southwestern Burkina Faso.  
Photo A. Béné, Tiékouana, février 2021.

assez souvent des rôniers solitaires ou en petits groupes se trouvent en effet au milieu des champs et des friches ; néanmoins, plus on se rapproche des concessions, plus les rôniers poussent en groupes denses et plus ils sont systématiquement exploités.

Le rônier est, en effet, fréquemment implanté dans ce que l'on appelle dans cette partie de l'Afrique des « champs de case », c'est-à-dire des champs proches des habitations, situés dans l'espace du village, qui sont très clairement distingués des parcelles éloignées dont l'entretien exige de résider hors de chez soi pendant certaines périodes de l'année. Si, selon les habitants, les rôniers de champs de case et de « brousse » ont exactement les mêmes usages, la facilité d'accès semble induire une extraction du vin et une exploitation des feuilles plus intenses. Les rôniers des champs de case présentent évidemment l'intérêt d'être facilement accessibles pour les usages quotidiens, notamment pour l'extraction du vin qui se fait même la nuit. L'implantation d'une rônieraie tout près de l'habitation en facilite également la surveillance (état de croissance, maraude, etc.).

C'est surtout dans les terroirs des Karaboro, Turka, Gouin et Toussian que se rencontrent les rônieraies alors que de nombreuses autres sociétés, notamment les Dogosé, Tiéfo, Sénoufo, des environs de Banfora, ne possèdent pas la plante. Dans une étude ethnologique sur les Gouin et les Turka, Tauxier (1933) précise qu'il y a près de 90 ans les rônieraies les plus importantes se rencontraient autour de Banfora, notamment en pays Karaboro. Il remarque que les Gouin étaient alors de grands arboriculteurs du rônier, mais peut-être moins que les Tourouka (Turka) et les Karaboro. Nos investigations corroborent ces observations, le Karaboro étant toujours le terroir de prédilection du rônier. La densité et la superficie des rônieraies révèlent les usages particuliers des sociétés détentrices. Ainsi, quand des sociétés se sont plus ou moins spécialisées dans l'exploitation et l'usage de certaines parties ou de certains produits du rônier, cela semble influencer la forme de culture qu'elles pratiquent en termes de superficie et de densité des rônieraies. Des usages artisanaux et alimentaires (vin et fruits), déjà évoqués par Yaméogo et al. (2008), semblent avoir contribué à dessiner la distribution du rônier que l'on observe aujourd'hui dans le sud-ouest du pays. Il y a près d'une cinquantaine d'années, Marchal (1978) estimait que la forte exploitation économique du rônier expliquait qu'il soit abondamment planté dans la région de Banfora. Toutefois, l'ethnohistoire enseigne que dans la région l'adoption du rônier par diverses sociétés a été guidée essentiellement par leur intérêt pour le vin (Béné et Fournier, 2021b). Depuis des siècles, le vin a en effet été pour elles la pierre angulaire de la vie sociale et économique et a représenté un héritage social et culturel. Ses usages alimentaires, traditionnels, rituels puis, par la suite, économiques ont été un élément important du mode de vie des habitants de cette région.

Comme le fait Seignobos (1989) au sujet des Kwang au Tchad, on pourrait ici parler de « civilisation du rônier ». En effet, pour plusieurs sociétés de la zone étudiée au Burkina Faso, le rônier se présente comme la principale ressource végétale tant pour l'alimentation, la construction des habitations, la fabrication de nombreux objets que pour les usages traditionnels et culturels. La culture du rônier a ainsi façonné la vie de ces sociétés.

## Conclusion

La forte abondance du rônier dans les champs fait que les autres espèces arborées et arbustives sont rares et dispersées. De nombreux vergers de manguiers, d'anacardiers, d'orangers, etc., de superficies relativement grandes, ont cependant été plantés depuis une période récente (années 1980) dans les rôneraies. D'après Béné et Fournier (2014), la dynamique de remplacement des surfaces de « brousse » par des champs cultivés et surtout des vergers est très active dans la région depuis une cinquantaine d'années et l'on peut penser que ce phénomène va encore s'amplifier à l'avenir. La reconversion des rôneraies ne se limite pas au domaine agricole, elle prend aussi la forme d'une extension des parcelles construites dans la plupart des villages. Par exemple, à l'entrée de Tiékouna, des milliers de pieds ont été coupés pour implanter une cité. En l'absence de données suffisamment précises sur le passé, il est difficile de cerner tous les changements sociaux et économiques en cours, mais, en se fondant sur les quelques travaux disponibles, certaines tendances sont toutefois perceptibles.

Le bouleversement qui a profondément marqué la mémoire des populations est le remplacement de plus de 10 000 ha de terres de rôneraies par des plantations de canne à sucre qui a été opéré par la Société sucrière de la Comoé (Sосуco) dans les années 1970 entre Bérégadougou et Takalédougou. Des milliers de rôniers qui procuraient d'importants services aux populations ont alors purement et simplement été éliminés. Comme le rapportent Koné (1990), cité par Cassou (1996), et de nombreuses personnes lors de nos enquêtes, des conséquences sociales et économiques importantes s'en sont suivies dans toute la zone concernée.

Au long des itinéraires parcourus chez les Gouin et les Turka, nous avons observé que les stipes étaient systématiquement plus fortement troués et annelés vers la base que vers la cime du rônier. Comme la partie haute du stipe est la plus récemment formée, un tel aspect témoigne d'une extraction du vin plus importante dans le passé. Plusieurs rôneraies présentent en outre de nombreux individus qui possèdent beaucoup de feuilles, montrant là aussi une réduction de l'usage des feuilles. Ainsi, au fil des années, les rapports entretenus entre le rônier et les sociétés se métamorphosent, comme c'est d'ailleurs le cas pour de nombreuses autres sociétés d'Afrique de l'Ouest (Sambou *et al.*, 2002; Diallo, 1999 cité par Sow, 2003; Zon *et al.*, 2021). Les causes semblent multiples et méritent d'être étudiées de manière approfondie, car l'avenir des rôneraies dans le sud-ouest du pays est en jeu.

Dans le sud-ouest du Burkina Faso, aucun peuplement naturel du rônier *Borassus akeassii* n'a été signalé et les populations que nous avons étudiées sont en réalité toutes des rôneraies cultivées. Il n'est donc guère étonnant que la variabilité des traits retenus dans notre étude soit plus fortement liée aux facteurs humains qu'aux facteurs écologiques. La répartition du rônier n'est pas régulière dans les deux régions administratives considérées, certaines sociétés en détiennent nettement plus que d'autres. Ceci semble avant tout traduire l'intérêt des sociétés pour cette espèce et leur maîtrise plus ou moins bonne des techniques culturelles et d'exploitation. Toutefois, les prémices de l'adoption de cette plante, uniquement cultivée donc, restent une grande énigme pour les habitants de la région, même si son caractère exotique leur est bien connu. Une étude ethnohistorique a toutefois conduit à l'hypothèse d'une origine nord-ghanéenne qui reste à vérifier, car la plante peut venir d'encore plus loin (Béné et Fournier, 2021b). La compréhension plus fine des déterminants de la distribution et de la variabilité actuelles des rôneraies passera nécessairement par une enquête de terrain ethnologique plus approfondie. Quel peut être l'avenir d'une plante entièrement dépendante de l'être humain, dans une région où son habitat et les sociétés qui la cultivent sont en pleine mutation (changement de mentalité, abandon de la tradition, diversification des activités, forte pression sur les terres...)? Les valeurs et usages qui ont, jadis, concouru à la mise en culture puis au maintien des rôneraies ont-ils de nos jours une vigueur suffisante pour que l'espèce ne disparaisse pas?

### Remerciements

Cette étude a été soutenue par le Programme Sud Expert Plante Développement durable (SEP2D). Nous sommes très reconnaissants aux personnes qui nous ont accompagnés en tant que guides et informateurs lors de la collecte des données, en particulier MM. Tou Siaka, Soulama Lassina, Koné Bakazy et Sanogo Sibiri.

### Accès aux données

Les données sont accessibles en sollicitant l'auteur correspondant et téléchargeables à l'adresse numérique suivante : <https://doi.org/10.23708/FX1GWL> version provisoire, ou dans le site web de l'UMR PALOC (voir [https://dataverse.ird.fr/dataverse/umr\\_paloc](https://dataverse.ird.fr/dataverse/umr_paloc)).

## Références

- African Plant Database (version 3.4.0), 2021. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute, Pretoria. [[CJBG-APD](#)]
- Aké Assi L., Guinko S., 1996. Confusion de deux taxons spécifiques ou subspécifiques au sein du genre *Borassus* en Afrique de l'Ouest. In : van der Maesen L. J. G., van der Burgt X. M., van Medenbach de Rooy J. M. (éds). The Biodiversity of African Plants. Kluwer Academic Publishers, 773-779. [[Crossref](#)]
- Arbonnier M., 2002. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. 2<sup>e</sup> édition. Cirad, MNHN, France, 573 p.
- Azihou A. F., Kakai R. G., Bellefontaine R., Sinsin B., 2013. Distribution of tree species along a gallery forest-savanna gradient: Patterns, overlaps and ecological thresholds. *Journal of Tropical Ecology*, 29 (1): 25-37.
- Bayton R. P., 2007. A Revision of *Borassus* L. (Arecaceae). *Kew Bulletin*, 62 (4): 561-585.
- Bayton R. P., Ouédraogo A., Guinko S., 2006. The genus *Borassus* (Arecaceae) in West Africa, with a description of a new species from Burkina Faso. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 150 (4): 419-427. [[Crossref](#)]
- Bayton R. P., Ouédraogo A., 2009. Discovering Africa's Newest Palm. *PALMS*, 53 (1): 37-45.
- Bellouard P., 1950. Le rônier en A.O.F. *Bois et Forêts des Tropiques*, 14 : 117-126. [[Crossref](#)]
- Béné A., Fournier A., 2021a. Les Karaboro et le rônier ; éléments pour l'ethnohistoire d'une plante à usages locaux au Burkina Faso. *Soumis à Revue d'Ethnoécologie*.
- Béné A., Fournier A., 2021b. Origine et transmission de la culture du palmier rônier dans l'ouest du Burkina Faso. In : Biodiversité végétale et développement durable. Marseille, France, IRD Éditions, coll. Synthèse. [[IRD](#)]
- Béné A., Fournier A., 2014. Végétation naturelle et occupation des terres au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). Cinq décennies de changement dans un terroir du pays sèmè. In : Fabre G., Fournier A., Sanogo L. Regards scientifiques croisés sur le changement global et le développement - Langue, environnement, culture. Actes du Colloque international de Ouagadougou (8-10 mars 2012). *Sciencesconf.org*, 143-164. [[Hal-Archives](#)]
- Cassou J., 1996. Le parc à rôniers (*Borassus aethiopum* Mart.) de Wolokonto dans le sud-ouest du Burkina Faso : structure, dynamique et usages de la rôneraie. Mémoire de DESS, Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales, Université de Paris-Val-de-Marne, France, 103 p. [[Agritrop](#)]
- Chevalier A., 1930. Le *Borassus aethiopum* de l'Afrique Occidentale et son utilisation. *Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Coloniale*, 10<sup>e</sup> année, 108 : 649-655. [[Persée](#)]
- Chevalier A., Dubois R., 1938. Les Palmiers *Hyphaene* et *Borassus* de l'Afrique Occidentale. (Une nouvelle variété de *Borassus aethiopum*. par Aug. Chevalier). *Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée*, 198 : 93-103. [[Persée](#)]
- Coulibaly J.-B. P., 2017. Archéologie en pays tusian (Burkina Faso) : Vestiges anciens et actuels de l'occupation humaine. Thèse, Universités Paris 1 et Ouagadougou 1 Joseph Ki-Zerbo, 393 p. [[Hal-archives](#)]
- Fauk R., 1962. Le sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion. *African Soils*, 8 (3) : 383-405. [[IRD](#)]
- Gbesso F., Yedomonhan H., Tente B., Akoegninou A., 2014. Distribution géographique des populations de rôniers (*Borassus aethiopum* Mart., Arecaceae) et caractérisation phytoécologique de leurs habitats dans la zone soudano-guinéenne du Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 74 : 6099-6111. [[Crossref](#)]
- Giffard P. L., 1967. Le palmier rônier *Borassus aethiopum* Mart. *Bois et Forêts des Tropiques*, 116 : 1- 45. [[Crossref](#)]
- Guinko S., Ouédraogo A., 2005. Usages et enjeux de conservation du rônier (*Borassus* L.) à l'Est et à l'Ouest du Burkina Faso. *SEREIN Occasional Paper*, 19 : 1-6. [[ResearchGate](#)]
- Hébert J., 1969. Les Gwi et les Turka. *Notes et Documents Voltaïques*, 3 (1) : 10-51.
- IFN (Inventaire forestier national du Burkina Faso), 2016. Second Inventaire forestier national du Burkina Faso. Burkina Faso, 499 p. [[CNS-BF](#)]
- Laveault D., 2012. Soixante ans de bons et mauvais usages du alpha de Cronbach. *Mesure et Évaluation en Éducation*, 35 (2) : 1-7. [[Crossref](#)]
- Marchal M., 1978. Les paysages agraires de la Haute-Volta : Analyse structurale par la méthode graphique. Thèse, École des hautes études en sciences sociales, Paris, 190 p. [[IRD](#)]
- Mialhe P., 1973. Utilisation et vente des sous-produits du Rônier de la rôneraie du Dallol Maouri. Nogent-sur-Marne, France, GERDAT-CTFT, 15 p.
- MNHN (Muséum national d'Histoire naturelle), 2021. Collection : Plantes vasculaires (P), Spécimen P00217548. [[MNHN](#)]
- Moreau R., 1967. Étude des sols de la région Nord de Banfora (Haute-Volta). Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Centre de Dakar-Hann, 124 p. [[IRD](#)]
- Nicolas F., 1959. La feuille de *Borassus flabellifer* utilisée comme support de l'écriture en Afrique occidentale. *Anthropos*, 54 (1/2) : 222-228. [[JSTOR](#)]
- Pélissier P., 1966. Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. Version électronique de l'ouvrage paru en 2008 sous le même titre [Saint-Yrieix, Fabrègue, 939 p.]. Dakar, Sénégal, UCAD, Département d'Histoire, 537 p. [[Persée](#)]
- Portères R., 1964. Le palmier rônier (*Borassus aethiopum* Mart.) dans la Province du Baoule (Côte d'Ivoire). *Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée*, 11 (12) : 499-514. [[Persée](#)]

Salako V. K., Assogbadjo A. E., Adomou A. C., Agbangla C., Glèlè Kakaï R. L., 2015. Latitudinal distribution, co-occurring tree species and structural diversity of the threatened palm *Borassus aethiopum* (Arecaceae) in Benin, West Africa. *Plant Ecology and Evolution*, 148 (3): 335-349. [[Crossref](#)]

Sambou B., Goudiaby A., Ervik F., Diallo D., Camara M. C., 2002. Palm wine harvesting by the Bassari threatens *Borassus aethiopum* populations in north-western Guinea. *Biodiversity and Conservation*, 11: 1149-1161. [[Crossref](#)]

Sanou B. D., 2003. Gestion des espèces végétales sacrées dans le milieu Madare au Burkina Faso : cas du rônier, du karité et du néré. In : Butaré I. (éd.), *Pratiques culturelles, la sauvegarde et la conservation de la biodiversité en Afrique de l'Ouest et du Centre*. Actes du Séminaire-atelier de Ouagadougou (Burkina Faso), 18-21 juin 2001. CRDI/Zoom Éditions, 13-32. [[IDRC-CRDI](#)]

Seignobos C., 1989. Les parades à la razzia dans la zone soudanienne au XIX<sup>e</sup> siècle : la domestication de la cueillette. In : Eldin M., Milleville P. (éds). *Le risque en agriculture*. IRD Éditions, 355-373. [[IRD](#)]

Sheuyange A., Oba G., Weladji R. B., 2005. Effects of anthropogenic fire history on savanna vegetation in northeastern Namibia. *Journal of Environmental Management*, 75 (3): 189-198. [[Crossref](#)]

Sourabié N., 1979. Influence de la culture de la canne à sucre sur les sols de Bérégadougou (Haute-Volta) (Cas particulier des facteurs de fertilité liés à la matière organique). Thèse, Université Aix-Marseille III, France, 190 p. [[IRD](#)]

Sow M., 2003. Pratiques culturelles et conservation de la biodiversité en Guinée. *Éducation Relative à l'Environnement*, 4 : 1-7. [[Crossref](#)]

Stauffer F. W., Ouattara D. N., Roguet D., da Giau S., Michon L., Bakayoko A., et al., 2017. An update to the African palms (Arecaceae) floristic and taxonomic knowledge, with emphasis on the West African region. *Webbia*, 72 (1): 17-30. [[Crossref](#)]

Tauxier L., 1933. Les Gouin et les Tourouka, résidence de Banfora, cercle de Bobo-Dioulasso. Étude ethnologique, suivie d'un double vocabulaire. *Journal de la Société des Africanistes*, 1 (3) : 77-128. [[Persée](#)]

Thiombiano A., Kammann D., 2010. Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest / Biodiversity Atlas of West Africa. Volume II : Burkina Faso. Frankfurt am Main, Allemagne, Goethe Universität, 625 p. [[Goethe Universität](#)]

Wong J. L. G., 2000. The biometrics of non-timber forest product resource assessment: A review of current methodology. London, UK, DFID, 180 p.

Yaméogo J., Belem/Ouédraogo M., Bayala J., Ouédraogo B. M., Guinko S., 2008. Uses and commercialization of *Borassus akeassii* Bayton, Ouédraogo, Guinko non-wood timber products in South-Western Burkina Faso, West Africa. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 12 (1): 47-55. [[Université de Liège](#)]

Yaméogo J., Samandoulgou Y., Belem M., 2016. Le rônier (*Borassus akeassii* B.O.G.) dans les parcs agroforestiers à Kokologho, Sakoinzé et Ramongo dans la province du Boulkiemdé, Centre-ouest du Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 100 : 9557-9566. [[Crossref](#)]

Zon A.O., Kouassi E. K., Ouédraogo A., 2021. Current knowledge and future directions on West African wild palms: an analytical review for its conservation and domestication in the context of climate change and human pressures. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68: 1731-1745. [[Crossref](#)]

### Béné et al. – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	J.-L. Devineau, A. Fournier
Gestion des données	A. Béné
Analyse formelle	A. Béné, J.-L. Devineau
Acquisition du financement	A. Béné, A. Fournier
Enquête et investigation	A. Béné
Méthodologie	A. Béné, J.-L. Devineau
Supervision	J.-L. Devineau, A. Fournier
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	A. Béné, J.-L. Devineau, A. Fournier
Écriture – Révision et édition	A. Béné, J.-L. Devineau, A. Fournier

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad -  
 © Bois et Forêts des Tropiques © Cirad



Cirad - Campus international de Baillarguet,  
 34398 Montpellier Cedex 5, France  
 Contact : [bft@cirad.fr](mailto:bft@cirad.fr) - ISSN : L-0006-579X

# Forest plantations with *Toona ciliata*: impacts of the managerial flexibility on economic viability



**Photo 1.**  
Plantation of *Toona ciliata* in Brazil.  
Photo R. A. Munis.

**Rafaele Almeida MUNIS<sup>1</sup>**  
**Diego Aparecido CAMARGO<sup>1</sup>**  
**Danilo SIMÕES<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> São Paulo State University (UNESP)  
School of Agriculture  
Department of Forest Science,  
Soils and Environment  
Botucatu, 18610-034  
Brazil

**Auteur correspondant /**  
**Corresponding author:**  
Danilo SIMÕES -  
[danilo.simoese@unesp.br](mailto:danilo.simoese@unesp.br)

**Doi :** 10.19182/bft2022.353.a36818 – Droit d’auteur © 2022, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 21 novembre 2021 ;  
date d’acceptation : 23 février 2022 ; date de publication : 1<sup>er</sup> septembre 2022.



Licence Creative Commons :  
Attribution - 4.0 International.  
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

## Citer l'article / To cite the article

Munis R. A., Camargo D. A., Simões D., 2022. Forest plantations with *Toona ciliata*: impacts of the managerial flexibility on economic viability. Bois et Forêts des Tropiques, 353: 31-41. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2022.353.a36818>



## RÉSUMÉ

### Plantations forestières de *Toona ciliata* : impacts de la gestion flexible sur leur viabilité économique

Les plantations forestières à *Toona ciliata* sont annoncées comme économiquement viables grâce à leur bois qui convient bien aux produits de niche de haute qualité. Cependant, cette étude vérifie si les projets d'investissement dans *T. ciliata* sont économiquement viables en y intégrant une gestion flexible. Nous avons appliqué les coefficients technico-économiques des plantations de *T. ciliata* sur un horizon de planification à 15 ans, en considérant le projet d'investissement comme un actif sous-jacent et le prix du bois comme la seule source d'incertitude. En utilisant la méthode de Monte-Carlo, nous avons modélisé l'incertitude pour obtenir la volatilité du projet, de sorte que, en appliquant la méthode des options réelles, la flexibilité de gestion pour le report, l'expansion et l'abandon s'ajoute aux actifs sous-jacents. En se basant sur la méthodologie traditionnelle d'évaluation économique, nous avons obtenu une valeur actuelle nette statique de 5 075 USD, ce qui indique la viabilité économique du projet d'investissement dans des plantations forestières à *T. ciliata*. En raison de l'incertitude liée aux prix du bois, la volatilité du projet s'établit à 131,7 %. Ensuite, il a été constaté que l'intégration des options de report et d'abandon ajoute une prime de 2 147 USD à la valeur du projet, le redirigeant vers une valeur nette actualisée accrue de 7 223 USD. L'intégration des options réelles de report et d'abandon apporte de la souplesse et une aide à la décision pour la gestion des plantations forestières à *T. ciliata*, ce qui se traduit par une augmentation de 42,3 % de la valeur du projet d'investissement.

**Mots-clés :** cèdre rouge d'Australie, arbre binomial, actif biologique, modélisation dynamique, investissement forestier, valeur nette actualisée, méthode des options réelles, volatilité.

## ABSTRACT

### Forest plantations with *Toona ciliata*: impacts of managerial flexibility on economic viability

Forest plantations with *Toona ciliata* are presented as economically viable thanks to the suitability of their wood for high-quality niche products. However, this study verifies whether investment projects in *T. ciliata* plantations are economically viable with the incorporation of managerial flexibility. We apply technical-economic coefficients from *T. ciliata* forest plantations over a 15-year planning horizon, considering the investment project as an underlying asset and the price of wood as the only source of uncertainty. Using the Monte Carlo method, we model uncertainty to obtain project volatility, so that, using the Real Option Approach, managerial flexibility for deferral, expansion and abandonment is added to the underlying assets. Based on the traditional economic valuation methodology, we obtained a static net present value of USD 5,075, which reflects the economic viability of the investment project in *T. ciliata* forest plantations. Due to the uncertainty arising from timber prices, project volatility was 131.7%. Afterwards, it was found that incorporating the deferral and abandonment options added a premium of USD 2,147 to the value of the project, redirecting it towards an expanded net present value of USD 7,223. Incorporation of the real deferral and abandonment options provides flexibility and support for the decision-making process in the management of *T. ciliata* forest plantations, resulting in a 42.3% increase in the value of the investment project.

**Keywords:** Australian cedar, binomial trees, biological asset, dynamic modelling, forest investment, Net Present Value, Real Option Approach, volatility.

## RESUMEN

### Plantaciones forestales con *Toona ciliata*: impacto de la flexibilidad de la gestión en su viabilidad económica

Las plantaciones forestales de *Toona ciliata* se presentan como económicamente viables gracias a la idoneidad de su madera para productos del nicho de mercado de alta calidad. Sin embargo, este estudio verifica si los proyectos de inversión en plantaciones de *T. ciliata* son económicamente viables con la incorporación de la flexibilidad de gestión. Aplicamos los coeficientes técnicoeconómicos de las plantaciones forestales de *T. ciliata* en un horizonte de planificación de 15 años, considerando el proyecto de inversión como activo subyacente y el precio de la madera como única fuente de incertidumbre. Utilizando el método de Montecarlo, modelamos la incertidumbre para obtener la volatilidad del proyecto, de modo que, utilizando el método de las opciones reales, la flexibilidad de la gestión para el aplazamiento, la expansión y el abandono se añade a los activos subyacentes. Basándonos en la metodología de valoración económica tradicional, obtuvimos un valor actual neto estático de 5 075 USD, que refleja la viabilidad económica del proyecto de inversión en plantaciones forestales de *T. ciliata*. Debido a la incertidumbre derivada de los precios de la madera, la volatilidad del proyecto fue del 131,7 %. Posteriormente se comprobó que la incorporación de las opciones de aplazamiento y abandono añadía una prima de 2 147 USD al valor del proyecto, reorientándolo hacia un valor actual neto ampliado de 7 223 USD. La incorporación de las opciones de aplazamiento y abandono real proporciona flexibilidad y apoyo al proceso de toma de decisiones en la gestión de las plantaciones forestales de *T. ciliata*, lo que se traduce en un aumento del 42,3 % del valor del proyecto de inversión.

**Palabras clave:** Cedro australiano, árboles binomiales, activo biológico, modelización dinámica, inversión forestal, valor actual neto, método de las opciones reales, volatilidad.

## Introduction

In addition to the performance physical and mechanical regarding the wood, the economic aspects must be measured and taken care of, to then define a genus or species for an investment project in planted forests. In Brazil, exotic genus usually stands out, such as *Eucalyptus* and *Pinus*. This genus, after the genetic enhancement, started to show rapid growth and meet physical, mechanical and, in some contexts, economic requirements of the industrial sector.

When quality, physical, and mechanical resistance is accentuated, species such as *Toona ciliata* are incorporated into the list. Native to Australia, *T. ciliata* is a hardwood with excellent workability and mechanical resistance, in addition, its appearance, texture and colour, make it preferable among artisans and furniture plant industries (Forrester, 2013; Li *et al.*, 2015; Castro *et al.*, 2016; Dejene *et al.*, 2017; España *et al.*, 2017).

Thus, as it moves towards intensive production, an understanding of investment and the uncertainties that affect the use of monetary capital becomes essential (Jon-grungrot *et al.*, 2014; Rodrigues *et al.*, 2016; Holland, 2017; Mao *et al.*, 2021). Operating with flexible scenarios promotes forest managers primacy in risk management.



**Photo 2.**  
Plantation of *Toona ciliata* in Brazil.  
Photo R. A. Munis.

They support the discernment between the acceptance or rejection of the investment in *T. ciliata*. In this context of measuring risks and incorporating uncertainties, the Real Option Approach (ROA) promotes the required accuracy (Phillips and Wright, 2009; Khadka and Vacik, 2012; Lee *et al.*, 2013; Cui and Shibata, 2017; Favato and Vecchiato, 2017; Kozlova, 2017; Tang *et al.*, 2017). ROA emphasizes that many initial investments create relevant opportunities that provide managers, especially forestry, with opportunities, but not obligations to make subsequent investments (Liu and Ronn, 2020; Oh and Yoon, 2020).

Our hypothesis is to certify the economic viability of planted forests with *Toona ciliata*, according to traditional methods of evaluating investment projects, plus the prize for the implementation of managerial flexibility. In view of this, we verified whether investment projects in *T. ciliata* forests are economically viable, when incorporated managerial flexibility.

## Material and Methods

### *Toona ciliata* planted forests

With the observance of a planted forest of *T. ciliata* in Brazil, technical-economic coefficients were obtained, considering an area of one hectare, with 816 trees grown in spacing of 3.5 m × 3.5 m. A systematic thinning in the eighth year with the removal of 60% of the trees was considered, therefore, clear cut in the fifteenth year, with an average productivity during the useful life of the forest of 25 m<sup>3</sup>/ha/year.

### Cash flow from the planted forests investment project with *Toona ciliata*

Cash flow was projected over a 15-year time horizon, therefore, the clear-cut period of the forest. It was considered as unconventional cash flow, as it requires investments intrinsic to silvicultural tracts during this horizon, in addition to the investment necessary for the implantation of the forest at the project's focal date. Considering mechanized areas, the capital expenditure (CAPEX) for the implantation of the planted forest was USD/ha 3,384.

In the eighth year and in the last year after the forest was implanted, the costs of harvesting of wood were assumed. Still, as a non-disbursable cost, the remuneration for the use of the land was estimated, and to attend the investment project in planted forests with *T. ciliata*, administrative expenses were considered. In the years when harvesting of wood was carried out, biological assets were quantified and related to the rate of depletion, following the percentage of systematic thinning, to deduct federal taxes.

The investment project in planted forests with *T. ciliata* was classified as real profit, based on the annual gross revenue of USD 5,399, according to Brasil (1996). A tax rate of 5.0% of the Social Integration Programs and 4.6% of Social Security Financing Contribution were taxed on gross revenue. Were deducted from earnings before interest and Income Tax (IT) 9.0% of Social Contribution on Net Income and 15.0% of IT. Further details regarding direct and indirect costs in our study are provided in the supplementary materials (appendice tables S1 to S3).

### Weighted average cost of capital rate

To estimate the minimum attractiveness rate of the investment project in planted forests with *T. ciliata*, discussed from the perspective of the opportunity cost, the weighted average cost of capital rate was estimated. The weighting between the cost of capital of owners and the cost of capital of creditors was estimated, according to equation 1, which was adapted from Brigham and Houston (2018).

$$WACC = K_e K_p (K_p + K_t)^{-1} + (1 - \tau) K_d K_t (K_t + K_p)^{-1} \quad (1)$$

where:  $WACC$  is the weighted average cost of capital;  $K_e$  is the capital cost of shareholders;  $K_d$  is the capital cost of creditors;  $K_p$  is the participation of shareholder's capital;  $K_t$  is the capital participation of creditors;  $\tau$  is the corporate tax rate.

In estimating the expected return by creditors, the spread for default was estimated due to Brazil's speculative credit rating (BA2). Following the Capital Asset Pricing Model (CAPM) methodology the return demanded by the owners of the investment project in planted forests with *T. ciliata* (equation 2) was estimated.

$$K_e = R_f + \beta (R_m - R_f) + w_{br} \quad (2)$$

where:  $R_f$  is the risk-free rate;  $\beta$  is the systematic risk in the forestry sector;  $R_m$  is the expected return by the forest market;  $(R_m - R_f)$  is the forest market risk premium;  $w_{br}$  is the country risk premium.

The return required by shareholders at 9.1%, with a risk-free rate of 5.2%. We emphasize that the risk-free rate was based on the historical series provided by the United States Department of the Treasury, since 1962, with a maturity term of ten years.

In obtaining the systematic risk coefficient of the forestry market of 0.5, the return on shares traded at B3 S.A. - Brasil, Bolsa, Balcão (2021), by industries in the wood and cellulose segment, such as Dexco S.A., Eucatex S.A. Indústria e Comércio, Klabin S.A. e Suzano S.A., was considered. The IBOVESPA index was used as a benchmark, as it represents the Brazilian variable income market.

The market risk premium, was assumed as the S&P Global Timber & Forestry index, provided by S&P Dow Jones Indices (2021) for a period of 10 years, resulting in an annualized return of 4.9%. Like the risk-free rate, the 3.9% risk premium for Brazil was the geometric average of debt securities issued by emerging countries since 1994.

Discussed from the perspective of the opportunity cost for the investment project in planted forests with *T. ciliata*, the estimated return expected due to the weighting of the applied capital was 7.3%.

### Static net present value

In ROA, one of the inputs of modeling is the static net present value (Brandão and Dyer, 2005). Thus, by updating the annual cash flows at the weighted average cost of capital rate, the static present value of the investment project in

planted forests with *T. ciliata* was determined, which, associated with CAPEX, resulted in the net present value (NPV) static (equation 3).

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{CF_t}{(1 + WACC)^t} - I_0$$

where:  $CF_t$  is the cash flow in year  $t$ ;  $I_0$  is the initial investment;  $n$  is the number of periods in the planning horizon.

### Volatility of the investment project in planted forests with *Toona ciliata*

Corroborated by Cox, Ross and Rubinstein (1979), therefore, the assumption of the Cox-Ross-Rubinstein market model (CRR model), which assumes that the value of an underlying asset follows a process of diffusion of the Geometric Brownian Motion (GBM), the revenue from the commercialization of *T. ciliata* wood was attributed to the GBM distribution.

As we do not have a historical series with regular data on the price of *T. ciliata* wood, corroborated by Black and Scholes (1973) and Lajbcygier and Connor (1997), we assume the simplistic approach that the return of log prices follows a lognormal distribution. Like the authors, the objective was to explore the analytical tractability of the investment project, when uncertainty is modeled using Geometric Brownian Motion.

As advised by O'Hagan *et al.* (2006), Leal *et al.* (2007), Briggs *et al.* (2012), and Simões *et al.* (2018), based on the opinion of forestry experts, a volatility of 30.0% and a drift of 10.0%, both related to the behavior of the price of *T. ciliata* wood, were assumed. Consequently, the Monte Carlo method simulation was performed with 100,000 iterations, with the use of the @Risk Copyright © 2020 software (Palisade Corporation, 2021).

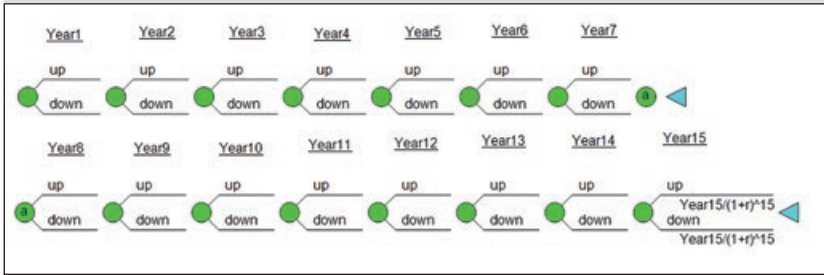
Still, according to Brandão *et al.* (2012), the volatility of the investment project in planted forests with *T. ciliata* was estimated through the standard deviation of the return sample ( $v$ ), obtained from the static present value conditioned to the expectations of the present values from the second to the fifteenth year (equation 4).

$$v = \ln \left[ \frac{\sum_{n=2}^{N=15} \frac{CF_t}{(1 + WACC)^{t-1}}}{PV_0} \right]$$

where:  $PV_0$  is the present value of the planted forest investment project with *T. ciliata* at the focal date.

### Underlying assets' modeling

Because it allows estimating the real value of underlying assets, ROA was conducted primarily with basic asset models, that is, capot.



**Figure 1.**  
Modeling of the underlying assets.

Using the DPL software (Syncopation, 2021), the project's volatility parameters ( $\sigma$ ), risk-free rate ( $R_f$ ), increment levels ( $u = e^{\sigma}$ ) or decrease ( $d = u^{-1}$ ) of the project value, risk-neutral probability ( $p = (1 + r - d)/(u - d)$ ) and the complementary probability ( $q = 1 - p$ ), were linked to the static present value (figure 1).

### Binomial trees

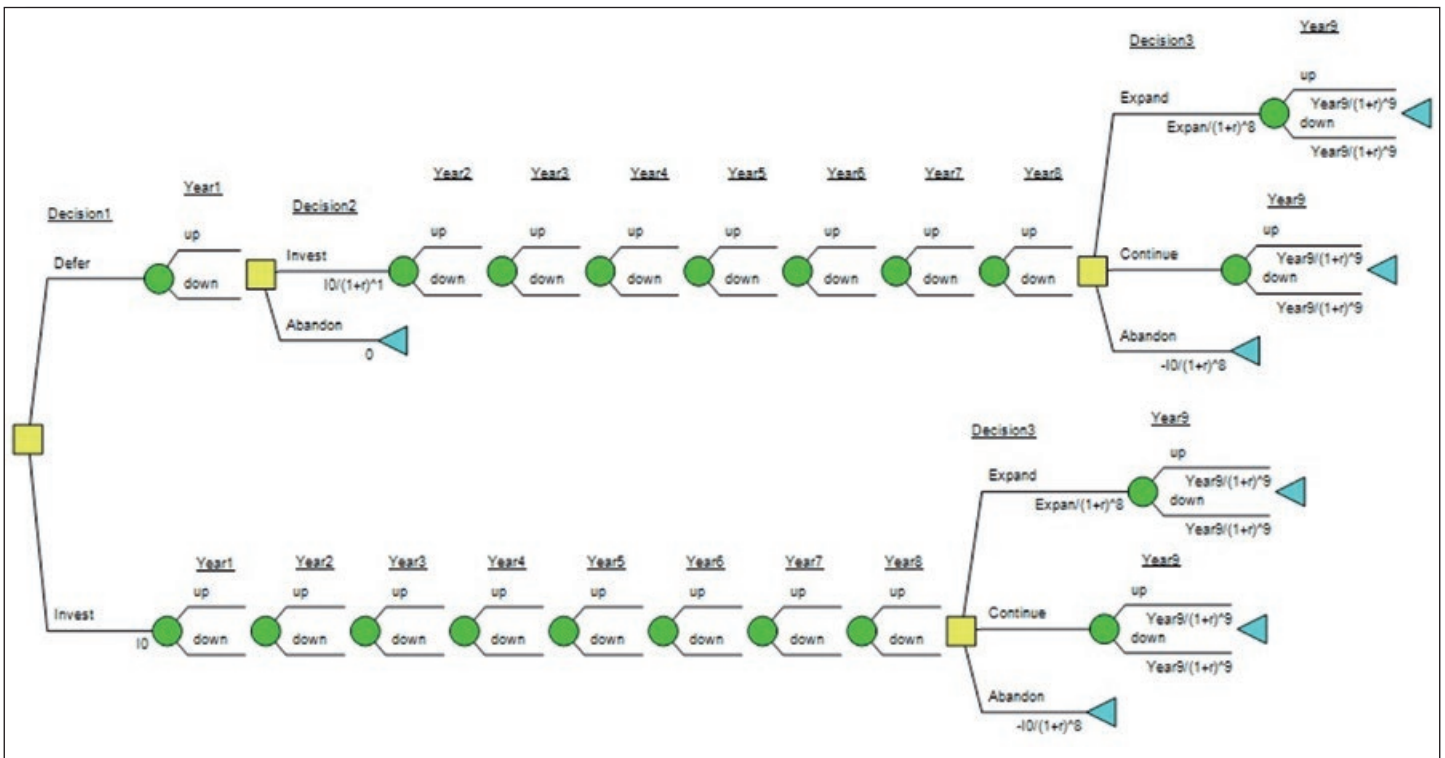
Nodes, expressing decision of managerial flexibility, were incorporated into asset models, therefore, a binomial tree was generated (figure 2). At the end of the first year, the option of deciding by deferring the initial investment was considered, with the bonus of implementing the investment project in planted forests with *T. ciliata* under favorable conditions or, on the other hand, deciding to abandon it.

In the eighth year, the option to expand the initial area of the investment project in planted forests with *T. ciliata* with an expenditure of USD/ha 2,664 was incorporated by 30.0%. On the other hand, in the same period, under unfavorable conditions, the possibility of abandoning it to the bonus of USD/ha 3,384 was considered, or else, proceeding without incorporating the decision of managerial flexibility.

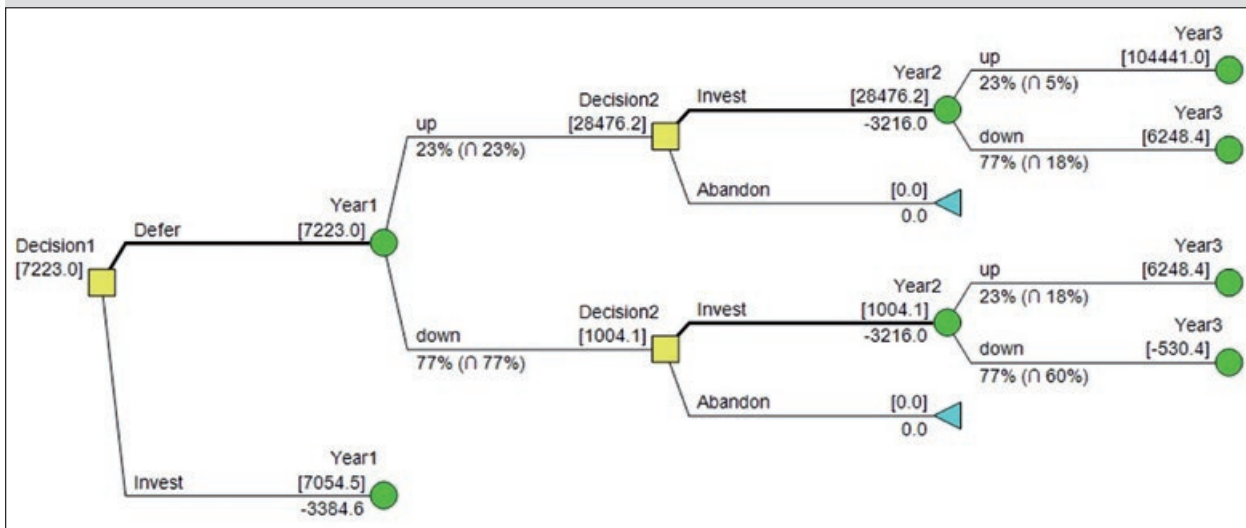
The risk-free rate was replaced by the risk-adjusted rate of the investment project in planted forests with *T. ciliata* and the probabilities of the occurrence of the related options were estimated. With the return of the expanded net present value, the static net present value was discounted, and the options' premium was obtained, in line with Monjas-Barroso and Balibrea-Iniesta (2013).

## Results

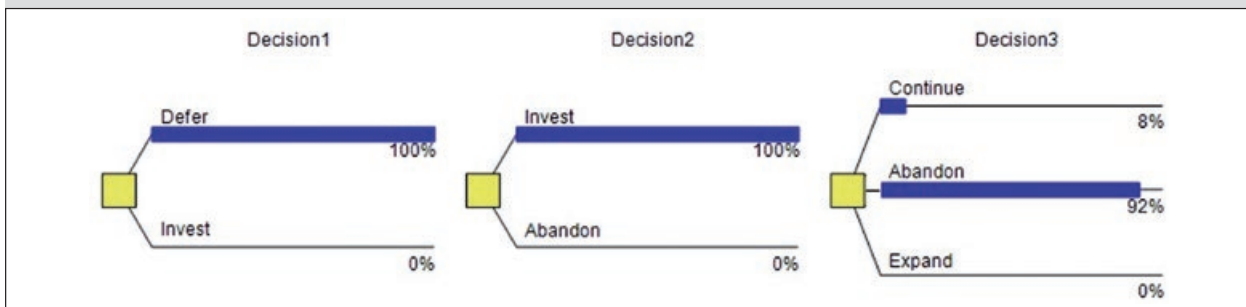
The static net present value was USD/ha 5,075. To measure the compensation for incorporating options into the planning horizon of an investment project, it is necessary to capture the volatility of the project. The standard deviation of the return of the present value conditioned to the expectations of the present values from the second to the fifteenth year allowed the inference of an oscillation of 131.7%.



**Figure 2.**  
Binomial trees with the incorporation of real options.



**Figure 3.**  
Optimal policy tree.



**Figure 4.**  
Probabilities of occurrence of the combined options.

After incorporating volatility and decision of managerial flexibility, into the underlying assets, an expanded net present value of USD/ha 7,223 was estimated (figure 3). Accordingly, the difference shows a premium of USD/ha 2,147 for options weighted together.

The notoriety of the impact of the options on the investment project in planted forests with *T. ciliata*, is reflected in its probabilities of occurrence (figure 4). The deferral was assumed in 100.0% of the scenarios. On the other hand, the expansion resulted in 0.0% of the odds diverging from 92.0% abandonment and 8.0% continuity.

## Discussion

From an economic point of view, obtaining a static net present value greater than zero resulted in the economic viability of the investment project in planted forests with *T. ciliata*, as highlighted by Torres and Fullana (2019). According to Runsheng (2001), the conventional forest investment assessment has difficulty dealing with multiple decisions and capturing the operational flexibility involved in timber production.

Compared to other investment possibilities, its potential can be underestimated, which requires alignment of the companies' investment strategy to the environments in

which they find themselves, as corroborated by Soda and Furlotti (2017). With ROA and acting in order to maximize the value of an investment project, it was possible to expose the scope that decision of managerial flexibility provided in monetary form.

The ROA revealed the expectation of the future value, as approached by Runsheng and Newman (1996) and Tiwana *et al.* (2007). The volatility expressed the variation that the investment project in planted forests with *T. ciliata*, free of decision of managerial flexibility, suffered over time.

According to Moon and Baran (2018), volatility is an essential property in asset models. In this study, volatility was introduced to represent the change in revenue generated after cutting the planted forests with *T. ciliata*. Volatility was represented through the statistical standard deviation of a sequence of simulations of possible scenarios for the evolution of the investment project from the generated revenue.

According to Luan *et al.* (2019), the larger the sample of simulation performed, the results become increasingly more reliable. This result is consistent with the law of large numbers (Hastings, 1970), also observed in the study by Caporin *et al.* (2017) and Miranda *et al.* (2017).

It should be noted that investment projects in planted forests with *T. ciliata* reflect its economic viability, as pointed out by Dordel *et al.* (2010). Biological assets have synergies between price estimates with environmental conditions and are therefore affected by several other factors, such as those studied by Pirovani *et al.* (2018) and Nohro and Jayakumar (2020). It was explained how the decision of managerial flexibility could express the monetary reach of the value of investment projects in planted forests with *T. ciliata*, after the uncertainties were captured as volatility.

However, the standard deviation, which can be considered high (USD 39.562), was obtained from the Monte Carlo simulation and led to high volatility (131.7%). The volatility indicated the uncertainty produced through the returns of the static present values conditioned to the present values of the second to the fifteenth year of the investment project in planted forests with *T. ciliata*.

This volatility approach produced an inflated number, as corroborated by Smith (2005). However, Nicholls *et al.* (2015) found from different methods that the volatility of the project is always significantly higher than the volatility of the source of uncertainty, which is the main limitation of ROA.

## Conclusion

Investment projects in planted forests with *Toona ciliata* are economically viable and with the Real Option Approach, there is an increase of 42.3% in the value of the investment project, resulting exclusively from managerial flexibility.

The incorporation of the real deferral and abandonment options gives investment projects flexibility, supporting the decision-making process for managing planted forests with *T. ciliata*.

Relating the real options of deferral, expansion and abandonment as managerial flexibility decisions makes it possible to increase the net present value of the investment project by simulating the strategy that the forest manager naturally exercises over the planned horizon.

## Acknowledgment

The authors thank the company Bela Vista and the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

## Data access

Our data can be accessed at:

Munis, Rafael Almeida; Camargo, Diego Aparecido; Simões, Danilo, 2022. Cash Flow Components. Demo Dataverse, V1. Available in: <https://demo.dataverse.org/file.xhtml?persistentId=doi:10.70122/FK2/OVQHBD/EQUGCM&version=2.0>.

## Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

## References

- Brasil, 1996. Constitution. Law N° 9430, of December 27, 1996. Lex: Federal Tax Legislation. Brasília, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9430.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9430.htm)
- B3 S.A. - Brasil Bolsa Balcão, 2021. Cotações históricas. [B3 S.A.]
- Black F., Scholes M., 1973. The pricing of options and corporate liabilities. *Chicago Journals*, 81: 637-654. [JSTOR]
- Brandão L. E., Dyer J. S., 2005. Decision Analysis and Real Options: A Discrete Time Approach to Real Option Valuation. *Annals of Operations Research*, 135: 21-39. [Crossref]
- Brandão L. E., Dyer J. S., Hahn W. J., 2012. Volatility estimation for stochastic project value models. *European Journal of Operational Research*, 220: 642-648. [Crossref]
- Briggs A. H., Weinstein M. C., Fenwick E. A. L., Karnon J., Sculpher M. J., Paltiel D., 2012. Model Parameter Estimation and Uncertainty: A Report of the ISPOR-SMDM Modeling Good Research Practices Task Force-6. *Value in Health*, 15: 835-842. [Crossref]
- Brigham E. F., Houston J. F., 2018. *Fundamentals of Financial Management*. Boston, MA, USA, Cengage Learning, 832 p.
- Caporin M., Rossi E., Magistris P. S., 2017. Chasing volatility: A persistent multiplicative error model with jumps. *Journal of Econometrics*, 198: 122-145. [Crossref]
- Castro C. A. O., Resende R. T., Bhering L. L., Cruz C. D., 2016. Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. *Ciência Rural*, 46: 1585-1593. [Crossref]
- Cox J. C., Ross S. A., Rubinstein M., 1979. Option pricing: a simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7: 229-263. [Crossref]
- Cui X., Shibata T., 2017. Investment strategies, reversibility, and asymmetric information. *European Journal of Operational Research*, 263: 1109-1122. [Crossref]
- Dejene T., Rueda J. A. O., Pinto P. M., 2017. Fungal diversity and succession under *Eucalyptus grandis* plantations in Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 405: 179-187. [Crossref]
- Dordel J., Simard S. W., Bauhus J., Seely B., Pozas L. J., Prescott C., *et al.*, 2010. Trade-offs among establishment success, stem morphology and productivity of underplanted *Toona ciliata*: Effects of nurse-species and thinning density. *Forest Ecology and Management*, 259: 1846-1855. [Crossref]
- España M. D., Arboleda J. W., Ribeiro J. A., Abdelnur P. V., Guzman J. D., 2017. *Eucalyptus* leaf byproduct inhibits the anthracnose-causing fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. *Industrial Crops & Products*, 108: 793-797. [Crossref]
- Favato G., Vecchiato R., 2017. Embedding real options in scenario planning: A new methodological approach. *Technological Forecasting & Social Change*, 124: 135-149. [Crossref]
- Forrester D. I., 2013. Growth responses to thinning, pruning and fertiliser application in *Eucalyptus* plantations: A review of their production ecology and interactions. *Forest Ecology and Management*, 310: 336-347. [Crossref]
- Hastings W. K., 1970. Monte Carlo sampling methods using Markov chains and their applications. *Biometrika*, 57: 97-109. [Crossref]
- Holland S. B., 2017. Firm investment in human health capital. *Journal of Corporate Finance*, 46: 374-390. [Crossref]
- Jongrungrat V., Thungwa S., Snoeck D., 2014. Tree-crop diversification in rubber plantations to diversify sources of income for small-scale rubber farmers in Southern Thailand. *Bois et Forêts des Tropiques*, 321 (3): 21-32. [Crossref]
- Khadka C., Vacik H., 2012. Use of multi-criteria analysis (MCA) for supporting community forest management. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 5: 60-71. [Crossref]

- Kozlova M., 2017. Real option valuation in renewable energy literature: Research focus, trends and design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80: 180-196. [[Crossref](#)]
- Lajbcygier P. R., Connor J. T., 1997. Improved Option Pricing Using. *International Journal of Neural Systems*, 8: 457-471. [[Crossref](#)]
- Leal J., Wordsworth S., Legood R., Blair E., 2007. Eliciting expert opinion for economic Models: An applied example. *Value in Health*, 10: 195-203. [[Crossref](#)]
- Lee H., Park T., Kim B., Kim K., Kim H., 2013. A real option-based model for promoting sustainable energy projects under the clean development mechanism. *Energy Policy*, 54: 360-368. [[Crossref](#)]
- Li P., Zhan X., Que Q., Qu W., Liu M., Ouyang K., et al., 2015. Genetic Diversity and Population Structure of *Toona Ciliata* Roem. Based on Sequence-Related Amplified Polymorphism (SRAP) Markers. *Forests*, 6 (4): 1094-1106. [[Crossref](#)]
- Liu X., Ronn E. I., 2020. Using the Binomial Model for the Valuation of Real Options in Computing Optimal Subsidies for Chinese Renewable Energy Investments. *Energy Economics*, 87. [[Crossref](#)]
- Luan S., Chen X., Su, Y., Dong Z., Ma X., 2019. Modeling travel time volatility using copula-based Monte Carlo simulation method for probabilistic traffic prediction. *Transportmetrica A: Transport Science*, 18: 54-77. [[Crossref](#)]
- Mao W., Song H., Li Y., Wang Y., Lin H., Yao C., et al., 2021. Efficient plant regeneration and genetic transformation system of the precious fast-growing tree *Toona ciliata*. *Industrial Crops and Products*, 172: 114015. [[Crossref](#)]
- Miranda O. R., Brandão L. E., Lazo J. G. L., 2017. A dynamic model for valuing flexible mining exploration projects under uncertainty. *Resources Policy*, 52: 393-404. [[Crossref](#)]
- Monjas-Barroso M., Balibrea-Iniesta J., 2013. Valuation of projects for power generation with renewable energy: A comparative study based on real regulatory options. *Energy Policy*, 55: 335-352. [[Crossref](#)]
- Moon Y., Baran M., 2018. Economic analysis of a residential PV system from the timing perspective: A real option model. *Renewable Energy*, 125: 783-795. [[Crossref](#)]
- Nicholls G. M., Lewis N. A., Zhang L., Jiang Z., 2015. Breakeven Volatility for Real Option Valuation. *Engineering Management Journal*, 26: 49-61. [[Crossref](#)]
- Nohro S., Jayakumar S., 2020. Tree species diversity and composition of the Pala Wetland Reserve Forest, Mizoram, Indo-Burma hotspot, India. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 23. [[Crossref](#)]
- O'Hagan A., Buck C. E., Daneshkhan A., Eiser J. R., Garthwaite P. H., Jenkinson D. J., et al., 2006. *Uncertain Judgements: Eliciting Experts' Probabilities*. Wiley, 340 p. [[Crossref](#)]
- Oh H., Yoon C., 2020. Time to build and the real-options channel of residential investment. *Journal of Financial Economics*, 135: 255-269. [[Crossref](#)]
- Palisade Corporation, 2021. @Risk. Newfield: Palisade Corporation. version 7.5. Palisade, website. [[Palisade](#)]
- Phillips P. A., Wright C., 2009. E-business's impact on organizational flexibility. *Journal of Business Research*, 62: 1071-1080. [[Crossref](#)]
- Pirovani D. B., Pezzopane J. E. M., Xavier A. C., Pezzopane J. R. M., Jesus Júnior W. C., Machuca M. A. H., et al., 2018. Climate change impacts on the aptitude area of forest species. *Ecological Indicators*, 95: 405-416. [[Crossref](#)]
- Rodrigues L. C. A., Castro E. M., Pereira F. J., Maluleque I. F., Barbosa J. P. R. A. D., Rosado S. C. S., 2016. Effects of paclobutrazol on leaf anatomy and gas exchange of *Toona ciliata* clones. *Australian Forestry*, 79: 241-247. [[Crossref](#)]
- Runsheng Y., 2001. Combining Forest-Level Analysis with Options Valuation Approach: A New Perspective for Forestry Investment Assessment. *Forest Science*, 47, 4: 475-483. [[ResearchGate](#)]
- Runsheng Y., Newman D. H. 1996. A Timber Producer's Entry, Exit, and Other Decisions under Market Uncertainty. *Journal of Forest Economics*, 5 (2): 305-320.
- Simões D., Dinardi A. J., Silva M. R., 2018. Investment Uncertainty Analysis in *Eucalyptus* Bole Biomass Production in Brazil. *Forests*, 9: 384-397. [[Crossref](#)]
- S&P Dow Jones indices, 2021. S&P Global Timber & Forestry Index – Overview. S&P Dow Jones indices, website. [[S&P Dow Jones indices](#)]
- Smith J. E., 2005. Alternative approaches for solving real-options problems. *Decision Analysis*, 2 (2): 89-102. [[Crossref](#)]
- Soda G., Furlotti M., 2017. Bringing Tasks Back In: An Organizational Theory of Resource Complementarity and Partner Selection. *Journal of Management*, 43: 348-375. [[Crossref](#)]
- Syncopation software, 2021. DPL – Decision Programming Language. Syncopation Software. Version 9.00. [[Syncopation](#)]
- Tang B. J., Zhou H. L., Chen H., Wang K., Cao H., 2017. Investment opportunity in China's overseas oil project: An empirical analysis based on real option approach. *Energy Policy*, 105: 17-26. [[Crossref](#)]
- Tiwana A., Wang J., Keil M., Ahluwalia P., 2007. The bounded rationality bias in managerial valuation of real options: Theory and evidence from IT projects. *Decision Sciences*, 38: 157-181. [[Crossref](#)]
- Torres I. L., Fullana C. B., 2019. Dimensionless numbers for the net present value and the perpetual value of sustainable timber harvests from a monospecific uneven-aged forest. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 12: 35-42. [[Crossref](#)]

### Munis et al. – Author's contributions

Contributor role	Contributor names
Conceptualization	D. Simões
Data Curation	R. A. Munis
Formal Analysis	D. A. Camargo
Investigation	D. A. Camargo, R. A. Munis
Methodology	D. A. Camargo
Resources	D. A. Camargo, R. A. Munis
Supervision	D. Simões
Validation	D. Simões, R. A. Munis
Visualization	D. Simões, R. A. Munis
Writing – Original Draft Preparation	D. A. Camargo, R. A. Munis
Writing – Review & Editing	D. A. Camargo, R. A. Munis

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad -  
© Bois et Forêts des Tropiques © Cirad



Cirad - Campus international de Baillarguet,  
34398 Montpellier Cedex 5, France  
Contact : [bft@cirad.fr](mailto:bft@cirad.fr) - ISSN : L-0006-579X

**Appendice 1.**

Tables of direct and indirect costs.

<b>S1.</b>	
<b>Deterministic assumptions</b>	<b>Value</b>
Average unleveraged beta	0.36
Current liabilities	819 124.0
Non-current liabilities	381 200.0
Onerous liabilities	1 200 324.0
Total assets	2 651 952.0
The proportion of debt financed assets	45.26%
The proportion of the asset financed by the owners	54.74%
Tax levied (Income Tax + Social Contribution on Net Income)	34.00%
Beta leverage	1.30
Beta re-leveraged	0.47
$r_f$ is the rate of return on a risk-free asset (10-year rate on Treasury bonds)	5.24%
$r_m$ is the expected rate of return for the market portfolio (S&P Global Timber and Forestry Index - 10 years)	4.90%
$\alpha_{Br}$ - country risk premium (Emerging Markets Bonds Index - EMBI+Br)	3.99%
$(r_m - r_f)$ is the premium for risk in the market	-0.34%
$K_s$ is the cost of ordinary capital	9.07%
Spread (BA2)	2.65%
$k_b$ is the creditor's cost of capital	7.89%
WACC	7.32%



## S2.

Cash Flow Components	Unit	Year of occurrence	Values
Planted area	ha	-	1.00
Spacing - 3,5m x 3,5m	m	-	12.25
Total individuals	ha	0	816
Thinning	-	8	510
Clear cut	-	15	306
Recipe - Thinning	USD	8	11 497.08
Recipe - Clear cut	USD	15	68 503.45
Investment - acquisition of the 1 ha	USD/ha	0	3 384.56
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	1	2 403.61
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	2	777.80
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	3	445.20
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	4	510.29
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	5	299.40
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	6	348.87
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	7	361.89
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	8	348.87
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	9	195.26
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	10	244.73
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	11	257.75
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	12	244.73
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	13	244.73
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	14	195.26
Investment in deployment and maintenance	USD/ha	15	7 029.39
Timber Harvesting cost	USD/ha	8	937.26
Timber Harvesting cost	USD/ha	15	4 061.47
Remuneration for the use of land	USD/ha	1 at 15	247.77
Administrative costs	USD/ha	1 at 15	15.62
Exhaustion	%	8	62.48%
Exhaustion	%	15	37.49%
Tax rate: Social Integration Programs and Social Security Financing Contribution	%	5	9.64%
Tax levied (Income Tax + Social Contribution on Net Income)	%	1 at 15	34.00%



# Suivi de la dynamique de deux parcs à *Faidherbia albida* du Nord-Cameroun, par analyse d'images Google Earth

Amah AKODEWOU<sup>1,2,3</sup>  
Oumarou PALOU MADI<sup>4</sup>  
Baptiste MARQUANT<sup>5</sup>  
Régis PELTIER<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Cirad  
UR Forêts et Sociétés  
Campus de Baillarguet  
34398 Montpellier  
France

<sup>2</sup> Forêts et Sociétés  
Univ Montpellier  
CIRAD  
Campus international de Baillarguet  
Montpellier  
France

<sup>3</sup> AKOAMECO  
Écologie-Environnement,  
Télédétection & SIG  
BP 6057, Lomé  
Togo

<sup>4</sup> IRAD  
Centre de recherche agricole  
de Wakwa  
BP 65, Ngaoundéré  
Cameroun

<sup>5</sup> Consultant Forêt  
Agen  
France

**Auteur correspondant /**  
**Corresponding author:**  
Régis PELTIER - [regis.peltier@cirad.fr](mailto:regis.peltier@cirad.fr)



**Photo 1.**

Dans le village de Sirlawé, une danse traditionnelle Tupuri sous l'ombrage des faidherbias. Un peuple fier de son identité culturelle et bon gestionnaire de ses ressources naturelles.  
*In the village of Sirlawé, a traditional Tupuri dance under the shade of the Faidherbias. A people proud of their cultural identity and good managers of their natural resources.*  
Photo B. Marquant.

**Doi :** 10.19182/bft2022.353.a36995 Droit d'auteur © 2022, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 23 juin 2021 ; date d'acceptation : 25 mars 2022 ; date de publication : 1<sup>er</sup> septembre 2022.



Licence Creative Commons :  
Attribution - 4.0 International.  
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

## Citer l'article / To cite the article

Akodewou A., Palou Madi O., Marquant B., Peltier R., 2022. Suivi de la dynamique de deux parcs à *Faidherbia albida* du Nord-Cameroun, par analyse d'images Google Earth. Bois et Forêts des Tropiques, 353 : 43-60. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2022.353.a36995>

## RÉSUMÉ

### Suivi de la dynamique de deux parcs à *Faidherbia albida* du Nord-Cameroun, par analyse d'images Google Earth

Dans la zone soudano-sahélienne du Nord-Cameroun, à partir de 1994, le projet Développement paysannal et gestion de terroir a encouragé la restauration des parcs agroforestiers à *Faidherbia albida* en subventionnant leur régénération naturelle assistée (RNA), en prélevant sur les revenus du coton. Ensuite, les instituts de recherche agronomique camerounais (Irada) et français (Cirad) s'associent pour étudier la dynamique de restauration de ces parcs, avec l'appui de l'École nationale du génie rural, des eaux et forêts (Engref) et du projet PRASAC, en réalisant des essais d'émondage des arbres, des inventaires et des enquêtes. Mais depuis la crise sécuritaire de Boko Haram (2015), l'accès au terrain est devenu compliqué. L'étude a pour objet de déterminer si un suivi de l'évolution de la couverture arborée de deux de ces parcs serait possible par une photo-interprétation semi-automatique d'images Google Earth prises en saison sèche, basée sur une analyse orientée-objet, et quel serait son degré de fiabilité. La comparaison entre les données provenant d'un inventaire réalisé dans ces parcs en 2012 et celles provenant de l'interprétation d'images Google Earth de 2013 montre que ces dernières sont très imprécises pour l'estimation du nombre d'arbres, en particulier pour les arbres dont le houppier a une surface de 2 à 100 m<sup>2</sup>, et pour les *F. albida* qui perdent une partie de leur feuillage et qui sont émondés de façon très irrégulière. Malgré cela, il est constaté que, sur les terroirs de Sirlawé et Gané, la superficie projetée des houppiers a plus que doublé entre 2009 et 2018, en passant respectivement de 246 à 587 m<sup>2</sup>/ha (2,5 % à 5,9 %) et de 245 à 575 m<sup>2</sup>/ha (2,5 % à 5,8 %). Cette augmentation du couvert est essentiellement due aux arbres de petite taille. Cette étude dessine des bases pour : inventier plus précisément avec d'autres types d'images satellitaires ; comparer l'évolution du couvert arboré des villages bénéficiant ou pas de la politique de RNA subventionnée ; déterminer les perceptions des agriculteurs sur l'intérêt de la politique d'appui à la RNA et sur la gestion durable de ces systèmes agroforestiers.

**Mots-clés :** régénération naturelle assistée, *Faidherbia albida*, biomasse aérienne, bois-énergie, recouvrement des houppiers, télédétection, agroforesterie, inventaire forestier, Cameroun.

## ABSTRACT

### Monitoring the dynamics of two *Faidherbia albida* parklands in North Cameroon by analysis of Google Earth images

In the Sudano-Sahelian zone of North Cameroon, the *Développement Paysannal et Gestion de Terroir* project has encouraged the restoration of *Faidherbia albida* agroforestry parks by subsidising their assisted natural regeneration (ANR), starting in 1994, through a levy on cotton revenues. In the following years, the Cameroonian (IRAD) and French (CIRAD) agricultural research institutes joined forces to study services and production in these parks, as well as their restoration dynamics, with the support of the Paris Institute of Technology for Life, Food and Environmental Sciences and the PRASAC project. Monitoring continued until 2012, through tree pruning trials, inventories and surveys. But since the Boko Haram security crisis (2015), access to the land has become difficult. This study aims to determine whether monitoring of tree cover change in two of these parklands would be possible by semi-automatic photo-interpretation of Google Earth images taken during the dry season, based on an object-oriented analysis, and how reliable this would be. Our comparison of data from an inventory carried out in these parks in 2012 with data from the interpretation of Google Earth images from 2013 shows that the latter are very inaccurate for estimations of the number of trees, particularly trees with a crown area of 2 to 100 m<sup>2</sup> and especially for *F. albida*, which lose part of their foliage and are pruned in a very irregular way. In the Sirlawé and Gané areas, the average tree cover more than doubled between 2009 and 2018, from 246 to 587 m<sup>2</sup>/ha (2.5% to 5.9%) and from 245 to 575 m<sup>2</sup>/ha (2.5% to 5.8%), respectively. This increase in tree cover is mainly due to small trees. This study provides a basis for more accurate inventories with other types of satellite images, for comparing change in tree cover in villages benefiting or not benefiting from the subsidized ANR policy and for determining farmers' perceptions of the value of the ANR support policy and sustainable management of these agroforestry systems.

**Keywords:** assisted natural regeneration, *Faidherbia albida*, above-ground biomass, wood energy, crown cover, remote sensing, agroforestry, forest inventory, Cameroon.

## RESUMEN

### Seguimiento de la dinámica de dos parques de *Faidherbia albida* en el norte de Camerún, mediante el análisis de imágenes de Google Earth

En la zona sudanosaheliana del norte de Camerún, a partir de 1994, el proyecto Desarrollo Campesino y Gestión del Territorio fomentó la restauración de los parques agroforestales de *Faidherbia albida* subvencionando su regeneración natural asistida (RNA) mediante la deducción de los ingresos del algodón. Posteriormente, los institutos de investigación agrícola cameruneses (IRAD) y franceses (CIRAD) se unieron para estudiar la dinámica de restauración de estos parques, con el apoyo de la Escuela Nacional de Ingeniería Rural, del Agua y de los Bosques (ENGREF) y del proyecto PRASAC, realizando ensayos de poda de árboles, inventarios y encuestas. Pero desde la crisis de seguridad de Boko Haram (2015), el acceso a la tierra se ha complicado. El objetivo del estudio es determinar si la evolución de la cobertura arbórea en dos de estos parques podría ser monitorizada mediante fotointerpretación semiautomática de imágenes de Google Earth tomadas en la temporada de sequía, basándose en un análisis orientado a objetos, y cuál sería su grado de fiabilidad. La comparación entre los datos de un inventario realizado en estos parques en 2012 y los datos procedentes de la interpretación de las imágenes de Google Earth de 2013 muestra que estos últimos son muy inexactos para estimar el número de árboles, sobre todo en el caso de los árboles con una superficie de copa de entre 2 y 100 m<sup>2</sup> y en el caso de los *F. albida*, que pierden parte de su follaje y se podan de forma muy irregular. A pesar de ello, se observa que en los territorios de Sirlawé y Gané, la superficie proyectada de las copas de los árboles se duplicó con creces entre 2009 y 2018, pasando de 246 a 587 m<sup>2</sup>/ha (2,5 % a 5,9 %) y de 245 a 575 m<sup>2</sup>/ha (2,5 % a 5,8 %) respectivamente. El aumento de la cobertura se debe principalmente a los árboles pequeños. Este estudio proporciona una base para: realizar inventarios más precisos utilizando otros tipos de imágenes por satélite; comparar la evolución de la cubierta arbórea en los pueblos según dispongan o no de la política de RNA subvencionada; determinar la percepción de los agricultores sobre el interés de la política de apoyo a la RNA y sobre la gestión sostenible de estos sistemas agroforestales.

**Palabras clave:** regeneración natural asistida, *Faidherbia albida*, biomasa aérea, madera-energía, cubierta de copas, teledetección, agroforestería, inventario forestal, Camerún.

## Introduction

La ressource arborée représente un enjeu majeur dans la fourniture de biens et services aux populations rurales, surtout dans les zones sèches. Elle fournit, entre autres, du bois de feu et d'œuvre, des fourrages, des produits forestiers non ligneux médicinaux et alimentaires, et contribue à l'amélioration de la fertilité du sol ainsi qu'à tamponner les extrêmes climatiques sous couvert. De plus, les arbres, en piégeant et emmagasinant de grandes quantités de carbone dans leur biomasse ligneuse, jouent un rôle potentiellement important comme régulateur du climat. Ainsi, le suivi de l'évolution de la ressource arborée dans une région peut contribuer à la mise en place des stratégies de gestion, de protection ou d'appui à la restauration adéquates.

Dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun, autour de la ville de Maroua, département du Diamaré, l'existence de parcs agro-sylvo-pastoraux à *Faidherbia albida* est attestée au moins depuis la sédentarisation des éleveurs peuls dans la vallée alluvionnaire du Mayo Tsanaga. Toujours dans cette même région, les populations des monts Mandara, en particulier les Mofou, qui pratiquaient une agroforesterie traditionnelle sur terrasses, incluant en particulier des *Ziziphus mauritiana* et diverses espèces de *Ficus*, ont colonisé tout au long du XX<sup>e</sup> siècle les piémonts de leurs massifs où ils ont créé des parcs à *F. albida* (Seignobos, 1982). Ces systèmes de parcs arborés sont également décrits par le même auteur dans le département du Mayo-Danay, sur des dépôts alluvionnaires éoliens, recouvrant le fond argileux de l'ancien lac Tchad, en particulier chez les agropasteurs Massa et Tupuri (photo 1). Ces systèmes agro-sylvo-pastoraux sont très majoritairement plurispécifiques, mais les scientifiques les désignent, en général, sous le nom de « parcs à *Faidherbia* », cette espèce ayant été particulièrement étudiée au Sahel en général et, plus particulièrement, au Nord-Cameroun (Peltier, 1996) pour ses services écosystémiques et agronomiques (régulation microclimatique, fixation d'azote, augmentation de la production des cultures associées, etc.) et ses productions de biens (bois-énergie, fourrage aérien ; photo 2).

Malgré tout l'intérêt de ces systèmes agroforestiers, bien connus de la majorité des populations de ces zones, ces peuplements arborés ont connu une dégradation à partir des années 1960 (Smektala *et al.*, 2005). Ceci a été expliqué par le développement de la culture du coton avec apport d'engrais chimiques et mécanisation des travaux agricoles (labour et buttage) qui rendait l'arbre moins utile s'agissant de la fertilisation du sol, voire gênant pour le passage des engins. Cependant, après la deuxième crise pétrolière mondiale de 1979, le prix du carburant et des engrais chimiques s'est envolé, et la Société de développement du coton du Cameroun (Sodecoton) a dû inciter les cultivateurs de coton à revenir à une fertilisation plus biologique (gestion de la fertilité des sols par rotations avec des plantes enrichissantes ou intégration de l'arbre dans les agroécosystèmes) et à la culture attelée.

Dans les années suivantes, les instituts de recherche agronomique camerounais (Irad) et français (Cirad) se sont associés pour étudier les services et les productions ainsi que les possibilités de restauration des parcs à *F. albida*

(Peltier, 1996). Ces travaux et ceux menés au Niger par Montagne (1996) sur la régénération naturelle assistée (RNA) de *F. albida* ont inspiré la démarche du projet Développement paysannal et gestion de terroirs (DPGT), au Nord-Cameroun (Teysier et Ousman, 1995). Grâce à un prélèvement sur la somme versée par la Sodecoton aux associations villageoises de producteurs, une subvention de 100 FCFA (0,15 €) était allouée sur une durée de 3 ans (50 + 25 + 25 FCFA) aux agriculteurs qui conservaient, éduquaient et protégeaient un jeune *Faidherbia* dans leurs champs. Cette subvention a été payée intégralement par le projet DPGT de 1997 à 2000. Ensuite, de 2000 à 2004, elle est passée à 75 FCFA par arbre (25 + 25 + 25), payée pour moitié par le DPGT et pour moitié par les groupements de producteurs de coton ; le même système a été suivi par le projet ESA1 de 2004 à 2008. À partir de 2009, le projet ESA2 a supprimé la subvention et n'a plus financé que la peinture et la prime donnée au moniteur chargé de marquer les arbres, à hauteur de 10 FCFA par arbre. D'autre part, ces différents projets ont apporté un appui aux pépiniéristes locaux pour fournir une grande variété d'arbres pouvant constituer des vergers, des haies vives, des jachères arborées et des micro-boisements. Ces projets et le système de subvention mis en place ont permis d'initier une dynamique d'extension spatiale des parcs à *Faidherbia* et une densification du couvert arboré des villages concernés (photos 3 et 4). Par ailleurs, dans le cadre d'une convention entre l'Irad et l'École nationale du génie rural, des eaux et des forêts (Engref), financée par le projet PRASAC, un certain nombre de *F. albida* de deux villages du pays Tupuri ont été émondés en 2004 afin de déterminer la biomasse récoltable sans risquer le dépérissement des arbres et leur productivité potentielle en bois (Manlay *et al.*, 2004).



**Photo 2.**

Parc arboré des champs de case de Sirlawé en saison sèche (avril). Les zébus pâturent les tiges sèches de sorgho et les gousses de *Faidherbia*. Le sol est enrichi par les déjections animales, les résidus de cuisine et la chute des folioles des arbres.

Sirlawé's dry-season (April) tree-fields. Zebu graze on dry sorghum stems and *Faidherbia* pods. The soil is enriched by animal droppings, kitchen waste and falling tree leaves.

Photo R. Peltier.

**Photos 3 et 4.**

En 2004, parc arboré densifié grâce à la politique de subvention de la régénération naturelle assistée (RNA) du projet DPGT des années 1990.

*In 2004, densified tree park thanks to the policy of subsidising Assisted Natural Regeneration (ANR) of the DPGT project in the 1990s.*

Photos R. Peltier.

Malheureusement, ces travaux de recherche ont été interrompus à partir de 2015, en raison de l'arrêt des projets de développement et des difficultés d'accès à ces zones, engendrés par la crise dite de Boko Haram (Seignobos, 2016). Il n'a plus été possible de réaliser de nouveaux inventaires et des enquêtes dans ces zones jusqu'en 2020. La présente étude a pour objet de déterminer si un suivi de l'évolution de la couverture arborée par interprétation d'images *Google Earth* serait possible et quel serait son degré de fiabilité.

En effet, même s'il est connu que la méthode la plus fiable pour atteindre cet objectif est de suivre l'évolution de la densité des ligneux grâce aux inventaires forestiers sur le terrain (Daget, 1999), une autre approche est le suivi par télédétection de la densité des ligneux (Poilecot *et al.*, 2013 ; Saïdi *et al.*, 2018) ou des recouvrements arborés (Hammi *et al.*, 2007). Cette seconde approche par télédétection est de plus en plus favorisée par la disponibilité des images satellitaires de haute à très haute résolution spatiale, accessibles gratuitement, permettant de bien identifier les couverts arborés. La revue de littérature de Schnell *et al.* (2015) sur l'évaluation des arbres hors forêts indique que les méthodes combinant la télédétection et les enquêtes sur le terrain semblent très prometteuses. En utilisant les techniques de *Deep learning* sur des images de très haute résolution spatiale (50 cm), Brandt *et al.* (2020) ont pu cartographier les houppiers de plus de 1,8 milliard d'arbres hors forêts sur une superficie de 1,3 million de km<sup>2</sup> dans le Sahara, le Sahel et la zone subhumide de l'Afrique de l'Ouest.

Les premiers travaux d'identification des parcs arborés au Nord-Cameroun par télédétection ont été effectués en analysant une image Spot du 2 janvier 1987. C'est ainsi que Triboulet (1996) avait estimé à environ 10 000 ha la surface des parcs sur une image centrée sur la ville de Maroua et couvrant 360 000 ha, soit 2,7 % de ce paysage. Les vérifications au sol avaient montré une prédominance des *F. albida* dans ces parcs, un taux de couverture moyen des houppiers de 13 % et une densité moyenne de 23 arbres/ha. Cependant, l'auteur notait que de très nombreux parcs à densité arborée trop faible ou entièrement défeuillés en ce milieu de saison sèche avaient échappé à son estimation.

Pour cette étude, les images *Google Earth* prises en saison sèche ont été privilégiées. Ce choix se justifie par le fait que, d'une part, ces images sont disponibles gratuitement et, d'autre part, elles ont une très haute résolution spatiale (< 1 m) permettant de bien détecter les couverts arborés. En effet, les images *Google Earth*, du fait de leur résolution spatiale et de leur disponibilité, ont été utilisées par plusieurs auteurs pour la cartographie des bâtis (Ghaffarian et Ghaffarian, 2014), la cartographie de l'agriculture urbaine (Taylor et Lovell, 2012) ou encore l'évaluation de la biomasse des forêts tropicales (Ploton *et al.*, 2012). Le choix de la saison sèche se justifie par le fait que l'absence de sous-étage herbacé (culture ou pâturage), déjà desséché, récolté, pâturé et parfois brûlé, facilite l'identification des houppiers d'arbres ; en saison de culture, ce serait beaucoup plus difficile (photo 5).



**Photo 5.**

Parc à *Faidherbia* en fin de saison des pluies près de Sirlawé. La présence du sous-étage de culture (niébé) et le fait que les arbres soient partiellement défeuillés compliqueraient l'interprétation d'images *Google Earth*.

*Faidherbia park at the end of the rainy season near Sirlawé. The presence of the crop understorey (cowpea) and the fact that the trees are partially de-leafed, would complicate the interpretation of Google Earth images.*

Photo R. Peltier.

## Objectif et hypothèses de l'étude

L'objectif de l'étude est de déterminer si un suivi de l'évolution de la couverture arborée par interprétation d'images *Google Earth* serait possible et quel serait son degré de fiabilité. Un tel suivi permettrait de guider les projets et d'évaluer les politiques publiques en matière de densification des arbres dans l'espace rural dans divers pays sahéliens, par exemple dans le cas du grand projet de la muraille verte<sup>1</sup> et, au Cameroun, la politique de densification des parcs à *Faidherbia* menée par les projets DPGT et ESA. Cela ouvrirait éventuellement la voie à des possibilités de financement de ces actions de restauration, à travers divers mécanismes internationaux, concernant la lutte contre la désertification (Wang et Xiaodong, 2017), la restauration des forêts dégradées (Berrahmouni *et al.*, 2016), la fixation de carbone ou la conservation de la biodiversité.

L'hypothèse principale de cette étude est qu'il est possible d'évaluer le nombre et la surface des houppiers d'arbres en région soudano-sahélienne en analysant des images *Google Earth* prises en saison sèche. Les hypothèses secondaires étant que : il est possible d'évaluer toutes les principales espèces d'arbres, y compris *Faidherbia albida* ; il est indispensable de disposer, à une date et sur une zone données, à la fois d'un inventaire au sol et d'une image satellite ; et il sera alors possible de suivre l'évolution du couvert arboré d'un territoire donné, sur une période où on

dispose d'images de bonne qualité. Si l'on dispose des équations allométriques *ad hoc*, il sera possible d'en déduire l'évolution de la biomasse arborée de ce peuplement, voire de sa productivité en bois, selon un type déterminé de gestion.

Pour cela, en 2012, sur les terroirs des deux villages de Gané et de Sirlawé et grâce à un financement Cirad et à un appui logistique de l'Irad, un inventaire des parcs précédemment inventoriés par l'Engref a été refait, certains arbres précédemment émondés l'ont à nouveau été et leur productivité annuelle en bois énergie estimée.

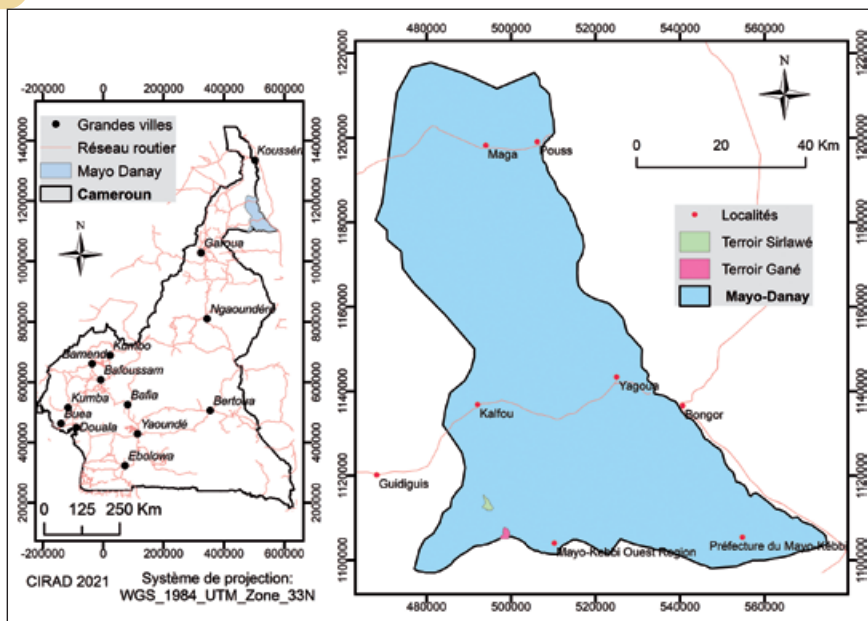
Ensuite, les résultats en nombre d'arbres et surface de recouvrement des houppiers obtenus par inventaire ont été comparés aux résultats qui ont été estimés par analyse d'images *Google Earth* de 2013 (images disponibles de bonne qualité les plus proches en temps de la date de l'inventaire). Enfin, la méthode d'analyse par télédétection a été utilisée sur les mêmes zones sur des images de 2009 et 2018. Ceci avait pour but d'estimer l'évolution de la couverture arborée de ces deux terroirs sur une période de neuf ans et d'évaluer la fiabilité de la méthode.

## Matériel et méthodes

### Présentation des sites d'étude

Cette étude a été réalisée dans deux terroirs villageois : Gané et Sirlawé, en pays Toupouri (ou Tupuri en écriture scientifique de linguiste) dans le département du Mayo-Danay, région Extrême-Nord du Cameroun (figure 1). Ces deux terroirs d'environ 500 ha chacun ont été choisis car ils font partie des sites ayant bénéficié des projets de recherche et développement mis en place par le Cirad, l'Irad et la Sodécoton. Le sol est constitué par des placages sableux d'épaisseur variable reposant sur le fond d'argile noire de l'ancien lac Tchad. Le climat est soudano-sahélien avec une courte saison des pluies de quatre à cinq mois (mai à septembre) aux précipitations irrégulières dans le temps et dans l'espace. La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 700 mm à 1 000 mm et les températures proches de 35 °C en moyenne atteignent des maximales de 45 °C aux mois de mars-avril, les plus chauds (Brabant et Gavaud, 1985). Les nappes phréatiques permanentes se situent entre 40 et 80 m de profondeur et sont accessibles par les arbres à enracinement pivotant, comme *Faidherbia*, alors que des nappes perchées, voire des étendues d'eau superficielles, apparaissent en saison des pluies et persistent en début de saison sèche. La densité de population est très élevée pour la région (215 habitants/km<sup>2</sup> à Sirlawé en 2004). Le peuple Toupouri est constitué par des agropasteurs, traditionnellement cultivateurs de mil (*Pennisetum typhoides*) et de sorgho (*Sorghum bicolor*), éleveurs de zébus (90 têtes/km<sup>2</sup>, d'après Seignobos, 1995) et de petits ruminants et ayant massivement adopté les cultures de rente (coton) depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle.

<sup>1</sup> « Great Green Wall | Action Against Desertification | Food and Agriculture Organization of the United Nations ». s. d. Consulté le 5 janvier 2022. [FAO]



**Figure 1.**  
Localisation des sites d'étude.  
Location of the study sites.

Les zones agroécologiques suivantes avaient été distinguées sur les deux terroirs villageois (Seignobos, 1995 ; Manlay *et al.*, 2004) :

- Les champs de case, incluant les zones d'habitation, sont cultivés de façon intensive pour les productions vivrières (sorgho, mil et légumes pluviaux) et dans une moindre mesure le coton. Ils sont cultivés en saison des pluies et les animaux y pâturent ou se reposent en saison sèche. Ces champs peuvent bénéficier d'une légère fertilisation organique et minérale (cendres) et ne font pas l'objet de jachère ; on y trouve un parc arboré âgé dominé par *F. albida*.
- Les champs de brousse sont cultivés en saison des pluies avec diverses cultures (coton, céréales et légumineuses : arachide, pois de terre, niébé) en alternance avec des jachères qui sont de plus en plus courtes. Ces champs, éloignés des

habitations, ne reçoivent pas de fertilisation organique ni de cendre. Le parc arboré est plus diversifié mais moins dense ; les faidherbias sont en général jeunes et inégalement présents. Les ligneux sont majoritairement présents sous forme buissonnante, en particulier *Guiera senegalensis*.

- Les zones de cultures de contre-saison (saison sèche) – sorgho repiqué *muskwari* ou *babu* et riz – se trouvent dans les zones les plus humides et sont pratiquement dépourvues d'arbres car les céréaliculteurs craignent qu'ils ne servent de reposoir aux oiseaux granivores.

- Les zones collectives de parcours ont une gestion commune. Ces pâturages sont généralement éloignés des villages et leur sol pauvre est impropre à la culture agricole.

Cependant, des enquêtes plus récentes tendent à montrer que les distinctions entre les champs de case et les champs de brousse sont de moins en moins nettes, suite à l'intensification agricole.

### Inventaire de 2012

Pour l'inventaire des parcs arborés effectué en 2012, le choix s'est porté sur un taux de sondage compris entre 5 % et 10 % distribué selon un maillage permettant de quadriller au mieux les strates de chaque terroir (tableau I et figure 2). Les zones cultures de contre-saison, pâturage et assimilées n'ont pas été inventoriées car elles comportaient peu ou pas d'arbres adultes.

Par ailleurs, 29 arbres émondés par les étudiants de l'Engref en 2004 et 2006 ont été à nouveau émondés (photos 6 et 7). Le bois a été pesé et le diamètre du tronc à la hauteur 1,30 m (DBH) de l'arbre mesuré. Ceci a permis de préciser les équations allométriques produites précédemment par l'Engref.

### Données satellitaires

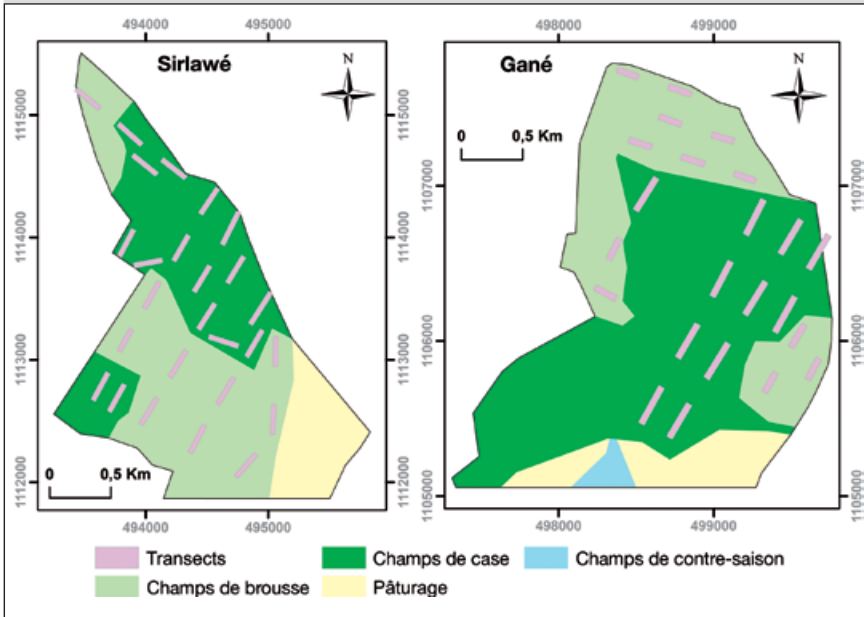
**Tableau I.**

Taux de sondage des inventaires effectués en 2012, sur les terroirs de Gané et de Sirlawé, par zone agroécologique.

*Sampling rate of the inventories carried out in 2012, in the Gané and Sirlawé areas, by agro-ecological zone.*

Zone agroécologique	Surface (ha)	Nombre de placettes	Dimensions des placettes	Surface des placettes (ha)	Taux de sondage (%)
Champs de case Gané	259	11	250 x 40 m	1	4
Champs de brousse Gané	124	12	150 x 40 m	0,6	6
Champs de case Sirlawé	177	16	250 x 40 m	1	9
Champs de brousse Sirlawé	231	11	250 x 40 m	1	5





**Figure 2.**  
 Zonage et placettes d'inventaire mesurées en 2012  
 dans les terroirs de Sirlawé et Gané.  
 Zoning and inventory plots measured in 2012  
 in the Sirlawé and Gané terroirs.

Les images ont été téléchargées à partir de *Google Earth* grâce au logiciel *SAS Planet*<sup>2</sup> pour trois dates, 2009, 2013 et 2018. Pour éviter des biais liés aux différents capteurs, seules des images exploitables et couvrant les deux terroirs ont été retenues. Les images du 24 février 2009 et du 4 juin 2013 ont une résolution spatiale de 1,6 m alors que celle du 17 février 2018 a une résolution spatiale de 0,3 m. *SAS Planet* permet de télécharger des images orthorectifiées et facilite le géoréférencement et la projection des images

<sup>2</sup> <https://gisenglish.geojamal.com/>

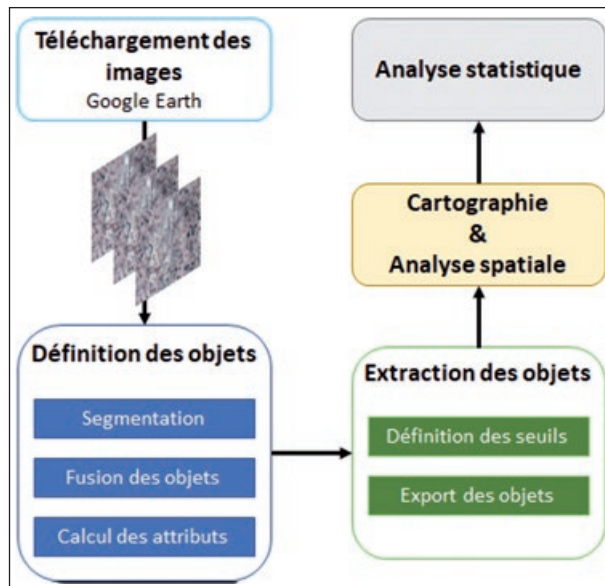
(Gangaraju *et al.*, 2017 ; Zeidan *et al.*, 2019). Les images ont été téléchargées avec le système de projection WGS 84 et ensuite reprojettées dans le référentiel spatial UTM fuseau 33 Nord (*Universal Transverse Mercator*). Pour une meilleure observation des peuplements ligneux, nous avons choisi des images de saison sèche (février et début juin), période pendant laquelle les cultures ont été récoltées et les herbacées mûres sont desséchées et impactent moins la réflectance émise par les ligneux (Traore *et al.*, 2014).

### Extraction des couverts arborés : une approche par photo-interprétation semi-automatisée

En l'absence de données vérités terrain fiables, une méthode souvent utilisée pour la classification des images à très haute résolution spatiale (THRS) est la photo-interprétation. Malgré sa forte précision, la photo-interprétation manuelle est très chronophage, extrêmement consommatrice d'argent et très dépendante du photo-interprète (Costa *et al.*, 2020 ; Provencher et Dubois, 2007). Pour ces raisons, nous avons opté dans cette étude pour une extraction des couverts arborés par une photo-interprétation semi-automatique grâce au logiciel *ENVI EX*. Cette approche, largement utilisée (Mo *et al.*, 2012 ; Shojanoori *et al.*, 2018), est basée sur une analyse orientée-objet (Blaschke et Hay, 2001). Dans cette analyse, l'extraction des objets (couverts arborés dans notre cas) prend en considération non seulement les attributs spectraux et de couleur,



**Photos 6 et 7.**  
*Faidherbia albida* émondé en 2005 et ayant reconstitué en 2012 l'essentiel de son houppier. C'est sur ce type d'arbre que la productivité en bois-énergie par émondage durable a été calculée.  
*Faidherbia albida* pruned in 2005 and having reconstituted most of its crown in 2012. It is on this type of tree that the productivity of wood-energy by sustainable pruning was calculated.  
 Photos R. Peltier.



**Figure 3.**  
Approche méthodologique adoptée.  
Methodological approach adopted.

mais aussi les attributs spatiaux et de texture (Benz *et al.*, 2004 ; Rittl *et al.*, 2013 ; Shojanoori *et al.*, 2018). Pour ce faire, d'abord, après une segmentation de chaque image en petites régions de pixels, les régions sont fusionnées selon un seuil défini et jugé optimal par le cartographe pour bien délimiter les objets recherchés (ITT Visual Information Solutions, 2009). Ensuite, les attributs spectraux, spatiaux, de couleur et de texture sont calculés pour chaque objet. Enfin, grâce



**Photo 8.**  
Au second plan, exemple de *Faidherbia* de classe 5, ayant une surface de houppier largement supérieure à 200 m<sup>2</sup>.  
In the background, an example of a class 5 *Faidherbia*, with a crown area well over 200 m<sup>2</sup>.  
Photo R. Peltier.

aux seuils définis pour les attributs les plus pertinents, les objets sont classifiés et exportés pour la réalisation des cartographies ou analyses spatiales (figure 3). Étant donné que l'objectif de cette étude est de suivre la ressource arborée, seule la classe « recouvrement arboré » a été exportée pour des analyses spatiales et statistiques. Toutes les opérations, à savoir la segmentation, la fusion, le calcul des attributs et l'exportation de la couche vectorielle, ont été réalisées à l'aide du logiciel ENVI EX.

### Évolution des couverts arborés

#### Estimations des surfaces de houppier des arbres

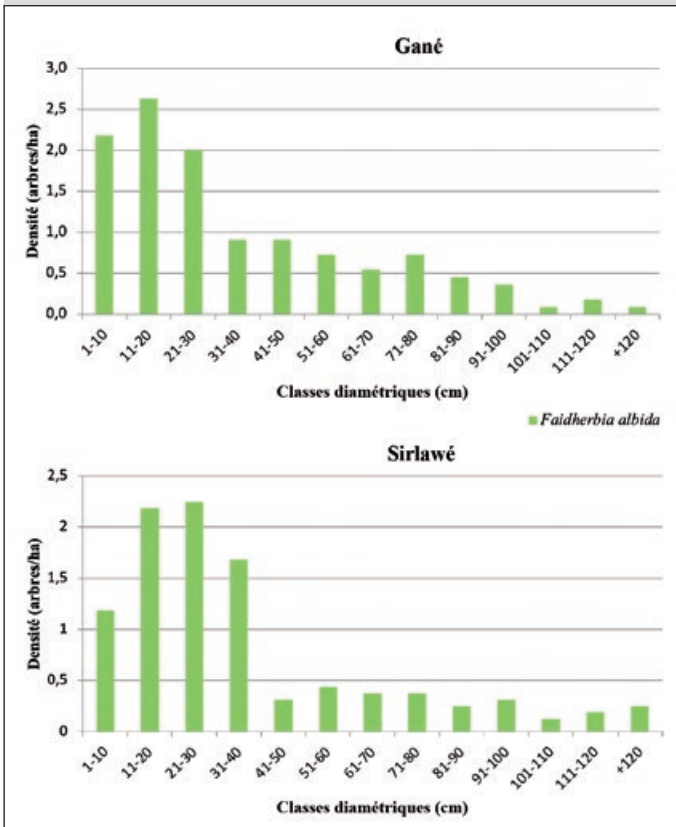
Vu que la cartographie des couverts arborés concerne toutes les espèces alors qu'au cours de l'inventaire réalisé en 2012 seules les surfaces de houppier des *F. albida* ont été mesurées, nous avons d'abord estimé la surface de houppier de chaque individu de toutes les espèces. Pour ce faire, une régression non linéaire (Bates and Watts, 2007), à l'aide d'une fonction puissance (surface du houppier = a.DBH<sup>b</sup>) a été utilisée pour déterminer la relation entre les DBH et les surfaces de houppier mesurées des *F. albida*. Partant de l'hypothèse que les *F. albida* ont une surface de houppier intermédiaire entre, d'une part, les *Azadirachta indica* et les *Ficus* qui ont des surfaces de houppier plus grandes et, d'autre part, les palmiers qui ont de petites surfaces de houppier, le modèle obtenu pour les *F. albida* a été appliqué aux autres espèces sur chaque site. Le meilleur modèle de Gané, obtenu après 6 itérations, a pour valeurs a = 1,117 et b = 1,131. Le modèle de Sirlawé est obtenu après 7 itérations et ses caractéristiques sont a = 0,7911 et b = 1,2883.

#### Définition des classes de surface de houppier et comparaison des données mesurées et estimées

Pour l'analyse de la structure des arbres, nous avons défini des classes de surface de houppier (Brandt *et al.*, 2020) après avoir éliminé celles dont la surface est inférieure à 2 m<sup>2</sup>. Les classes ont été définies comme suit : 2 m<sup>2</sup> ≤ surface du houppier < 50 m<sup>2</sup> : classe 1 ; 50 m<sup>2</sup> ≤ surface du houppier < 100 m<sup>2</sup> : classe 2 ; 100 m<sup>2</sup> ≤ surface du houppier < 150 m<sup>2</sup> : classe 3 ; 150 m<sup>2</sup> ≤ surface du houppier < 200 m<sup>2</sup> : classe 4 ; surface du houppier ≥ 200 m<sup>2</sup> : classe 5 (photo 8).

À partir de ces classes de surface de houppier, nous avons dans un premier temps comparé, pour chaque site et pour les *F. albida*, les nombres d'individus par classe mesurés et estimés grâce à notre modèle non linéaire. Cette comparaison permet d'évaluer la performance du modèle. La comparaison a été faite graphiquement et puis grâce à un test de Khi carré.

Dans un second temps, nous avons cherché à déterminer l'influence des usages des terres – zones écologiques : champs de brousse, champs de case – et de l'espèce *F. albida* sur la précision de la cartographie sur le site de Gané. Ainsi, les nombres d'arbres par classe de surface de houppier ont été comparés entre les données d'inventaire de 2012 et les données cartographiques de 2013 pour les placettes ayant plus de 75 % de pieds de *F. albida* puis pour celles ayant moins de 75 %.



**Figure 4.**  
 Histogrammes des structures diamétriques des peuplements de *Faidherbia albida* des champs de case de Gané et Sirlawé en 2012.  
 Histograms of diametric structures of *Faidherbia albida* stands in the Gané and Sirlawé hut fields in 2012.

### Évolution temporelle des parcs arborés

Pour comprendre l'évolution des parcs arborés dans le temps, les nombres d'arbres ont été comparés, sur chaque site, entre les zones écologiques et suivant les années (2009, 2013 et 2018). Ensuite, nous avons évalué suivant les années le recouvrement arboré par unité de surface. Enfin, l'impact de ces évolutions sur la production de bois-énergie a été évalué au sein de chaque terroir. Pour ce faire, les surfaces de houppier ont été converties en biomasse émondable (en matière sèche, MS) en appliquant les tarifs estimés par Manlay *et al.* (2004), où les auteurs utilisent la surface du houppier projetée au sol sous la forme d'une ellipse pour ajuster une fonction simple de la biomasse exploitable :

$$BE = 2,85 \times S^{1,28}$$

dont le coefficient de détermination est  $R^2 = 0,96$ , avec BE la biomasse exploitable (en kgMS/individu, S la surface de l'ellipse modélisant le houppier (en m<sup>2</sup>).

## Résultats issus de la comparaison entre données d'inventaire et données de télédétection

### Résultats de l'inventaire de 2012

Les structures diamétriques des faidherbias mesurés en 2012 font nettement apparaître une sur-représentation des classes diamétriques 11-20 et 21-30 dans les champs de case de Gané et de Sirlawé (figure 4).

Si l'on considère une croissance diamétrique annuelle de l'ordre de 2 à 2,5 cm (Depommier et Détienne, 1996), il est possible d'estimer que les arbres de moins de 30 cm de diamètre ont été conservés après l'arrivée des projets en 1997, ce qui tend à prouver l'impact des politiques de conservation des projets DPGT et ESA. Dans les deux terroirs villageois, la classe des tiges d'avenir (1-10 cm) présente une densité inférieure aux suivantes, ce qui indique une légère baisse de la dynamique de conservation au cours

des quatre années précédant l'inventaire de 2012 (arrêt des subventions en 2008). En 2012, les peuplements de faidherbias étaient donc jeunes. Le taux de couverture du *Faidherbia* était identique dans les deux villages (16 %) ; il était élevé pour la région où d'autres études ont mesuré des taux de 6 à 9 %, laissant supposer, ici encore, un effet des projets.

Le potentiel de production annuelle de biomasse par émondage des *F. albida* sur les terroirs villageois de Gané et Sirlawé a également été estimé (tableau II).

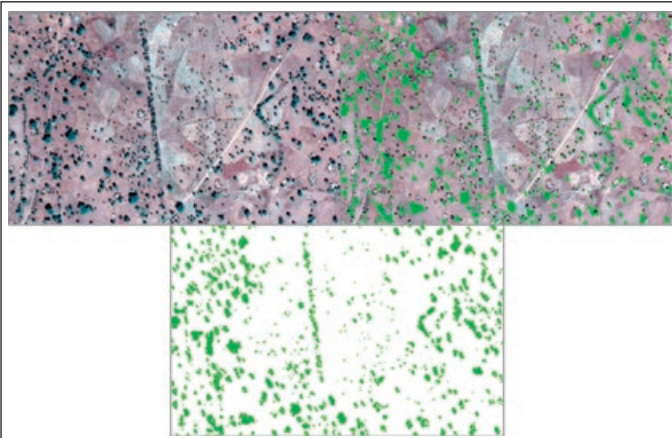
### Précision de la cartographie

Par manque de données sur les recouvrements arborés mesurés sur le terrain et correspondant aux années analysées, l'évaluation visuelle a permis

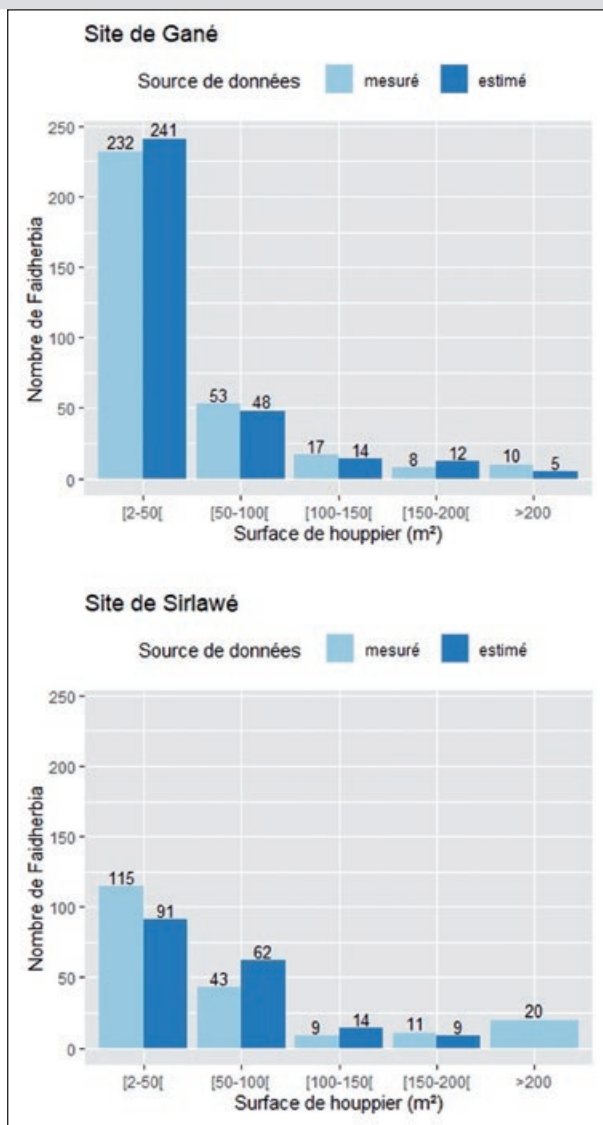
**Tableau II.**

Potentiels de production annuelle de biomasse sur les terroirs villageois de Gané et de Sirlawé en 2012.  
 Annual biomass production potential in the village areas of Gané and Sirlawé in 2012.

	Champs de case		Champs de brousse	
	Gané	Sirlawé	Gané	Sirlawé
Total inventaire (tMS/an)	4,1	5,19	1,55	0,45
Total terroir (tMS/an)	102,4	57,72	25,86	9,01
Total terroir (tMS/ha/an)	0,37	0,32	0,22	0,04
Total terroir (m <sup>3</sup> /an)	249,15	140,44	62,92	21,92
Total terroir (m <sup>3</sup> /ha/an)	0,96	0,79	0,51	0,09



**Figure 5.**  
Précision d'extraction des couverts arborés.  
*Accuracy of tree cover extraction.*



**Figure 6.**  
Distribution des surfaces de houppier de *Faidherbia* mesurées (inventaire de 2012) et estimées à partir des diamètres sur les sites de Gané et Sirlawé.  
*Distribution of Faidherbia crown areas measured (2012 inventory) and estimated from diameters at the Gané and Sirlawé sites.*

de juger de la qualité de nos cartographies. Grâce à la très haute résolution spatiale des images, presque tous les arbres sont visibles (figure 5). Cette figure montre que les couronnes des arbres ont été extraites avec une certaine précision qui permet, du moins dans le cadre de cette étude, de pouvoir évaluer l'évolution de la ressource arborée, même s'il est très probable que les plus petits houppiers ne puissent pas être identifiés par la méthode utilisée.

### Surfaces de houppier mesurées et estimées

Graphiquement, la structure – distribution du nombre d'arbres par classe de surface de houppier – des surfaces de houppier estimées à partir des DBH semble proche de celle des houppiers directement mesurés (en 2012) sur les deux sites (figure 6). Toutefois, les tests de Khi carré pour le site de Sirlawé ( $X^2 = 32,38$ ;  $df = 4$ ;  $p\text{-value} = 1.6e-06$ ) et le site de Gané ( $X^2 = 3,1758$ ;  $df = 4$ ;  $p\text{-value} = 0,5289$ ) indiquent qu'au seuil de 0,05 les distributions de nombre d'arbres par classe de surface de houppier sont significativement différentes entre les mesures directes de houppier et l'estimation de houppier sur le site de Sirlawé. En revanche, sur le site de Gané, il n'y a pas de différence significative entre les données mesurées et estimées à partir du DBH. Ainsi, il nous a paru plus judicieux d'évaluer la précision de la cartographie par rapport à l'inventaire uniquement sur le site de Gané.

### Effets de *F. albida* sur la précision de la cartographie

Les figures 7 et 8 montrent une disparité plus prononcée entre les données d'inventaire et celles de la cartographie pour les placettes ayant plus de 75 % de *F. albida*. La cartographie est donc plus précise pour les espèces autres que *F. albida*. Le faidherbia, par sa réflectance, serait alors plus difficile à cartographier que les autres espèces d'arbres du terroir.

## Résultats issus de l'analyse des données par télédétection à l'échelle des terroirs

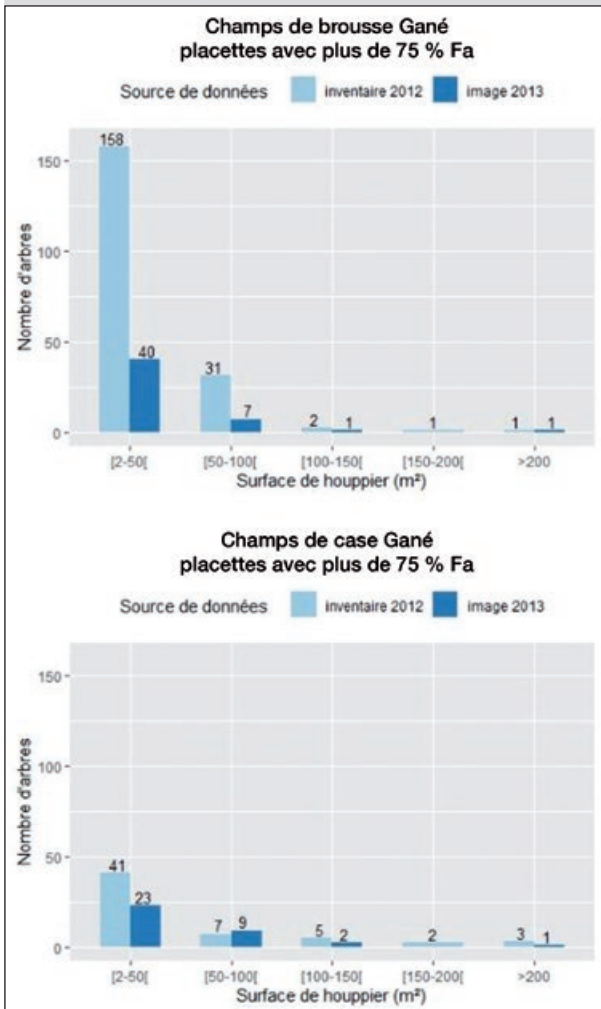
### Cartographie des recouvrements arborés

La figure 9 montre la représentation cartographique du couvert arboré sur le site de Sirlawé en 2009, 2013 et 2018. On y observe une augmentation progressive des couverts arborés sur les champs de case (nord et ouest), alors que le couvert arboré semble se réduire dans les champs de brousse et les pâturages (centre-sud et est).

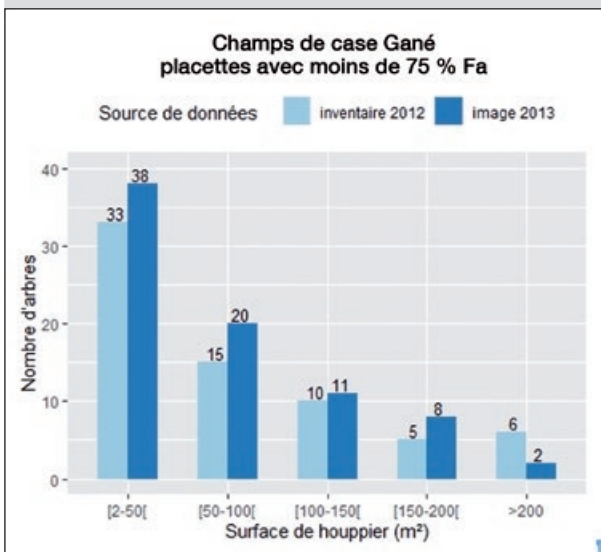
Sur le site de Gané, on assiste à une densification progressive du couvert arboré sur la majorité du terroir (figure 10).

### Effets des usages des terres sur la densification des parcs arborés

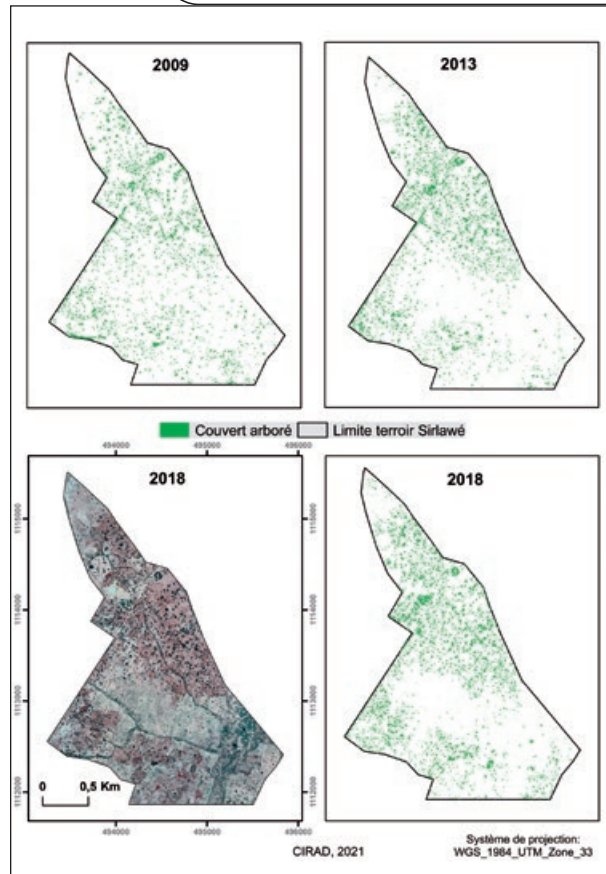
Sur les deux sites et pour chaque date, l'analyse des données à l'échelle des placettes montre que les parcs arborés des champs de case sont significativement plus



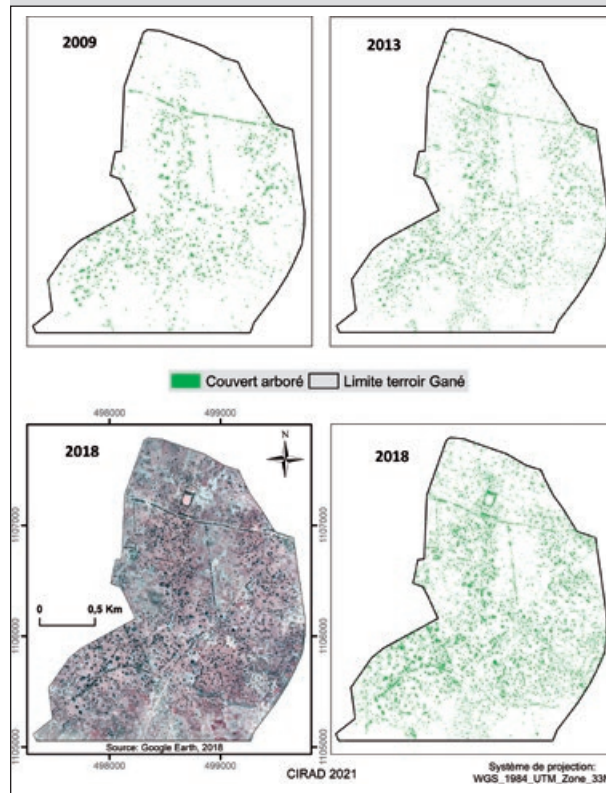
**Figure 7.**  
 Distribution des surfaces de houppier d'arbres entre l'inventaire et la cartographie pour les placettes de plus de 75 % de *Faidherbia albida* sur le site de Gané.  
 Distribution of tree crown areas between inventory and mapping for plots with more than 75% *Faidherbia* at the Gané site.



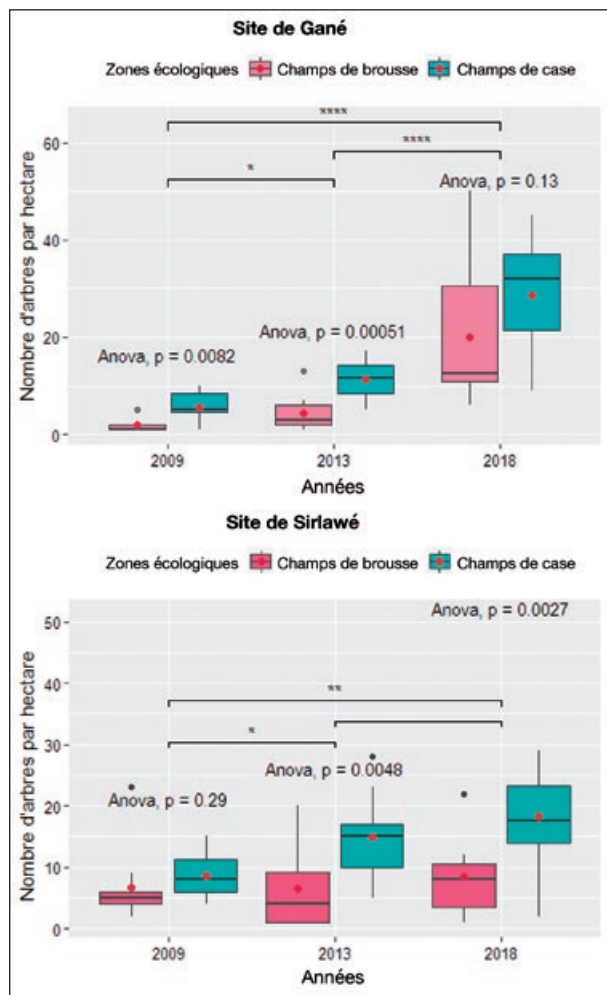
**Figure 8.**  
 Comparaison entre l'inventaire et la cartographie pour les placettes avec moins de 75 % de *Faidherbia albida* sur le site de Gané.  
 Comparison between inventory and mapping for plots with less than 75% *Faidherbia albida* in the Gané site.



**Figure 9.**  
 Cartographie des couverts arborés sur le terroir de Sirlawé.  
 Tree cover mapping in the Sirlawé area.



**Figure 10.**  
 Cartographie des couverts arborés sur le terroir de Gané.  
 Mapping of tree cover in the Gané area.



**Figure 11.**

Nombre d'arbres estimé par cartographie, par zone écologique suivant les dates sur le site de Gané et sur le site de Sirlawé. Les points rouges indiquent les valeurs moyennes et les étoiles indiquent les degrés de significativité de la différence entre les moyennes des groupes comparés. *Number of trees estimated by mapping, by ecological zone according to dates on the Gané site and the Sirlawé site. The red dots indicate the mean values and the stars indicate the degree of significance of the difference between the means of the groups compared.*

denses que ceux des champs de brousse, sauf pour l'année 2018 où la différence n'est pas significative au seuil de 5 % ( $p = 0,13$ ) (figure 11) sur le site de Gané.

De même, à l'échelle du terroir de Gané et pour chaque date, les champs de case sont plus denses que les champs de brousse (tableau III). En revanche, les densités moyennes à l'échelle du terroir sont plus élevées que celles obtenues à l'échelle des placettes. Ainsi, les zones en dehors des placettes seraient moyennement plus denses que les zones couvertes par les placettes.

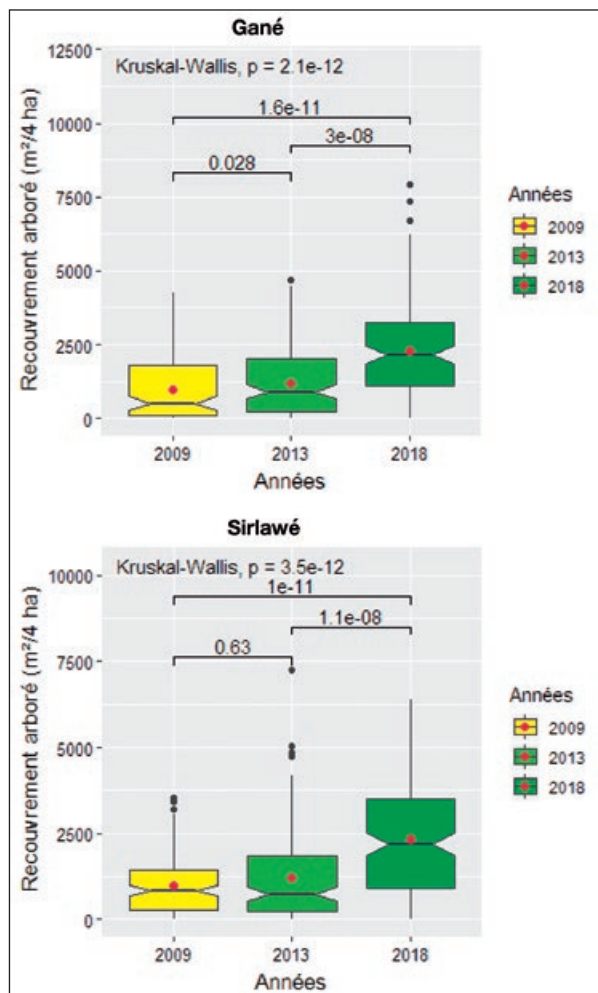
Sur le site de Gané, les parcs arborés sont significativement de plus en plus denses de 2009 à 2018 et ceci aussi bien dans les champs de case que dans les champs de brousse. Par contre, sur le site de Sirlawé et dans chaque zone écologique,

**Tableau III.**

Densité globale estimée par cartographie, par zone écologique et par année sur le terroir de Gané.

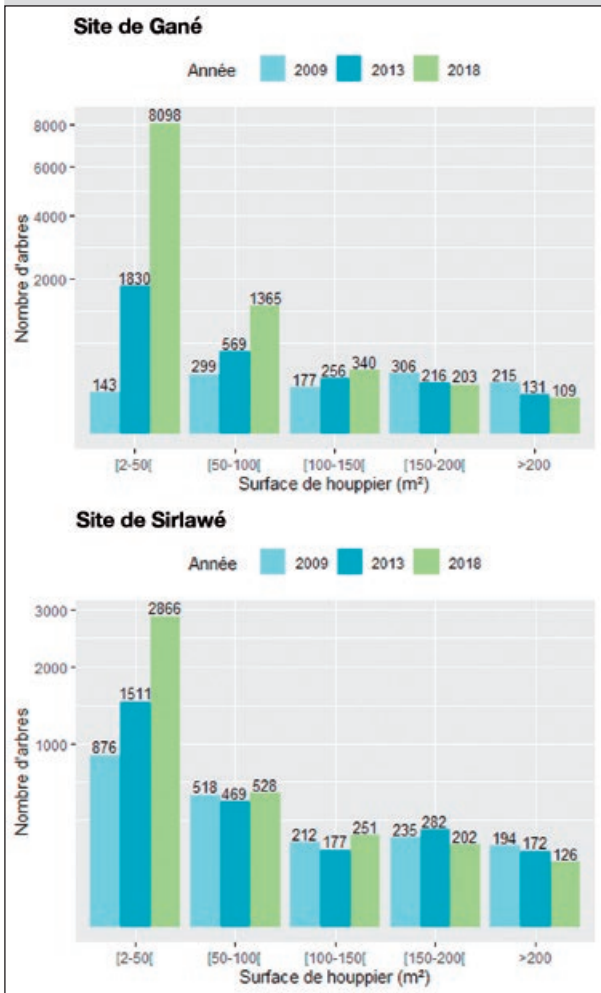
*Overall density estimated by mapping, by ecological zone and by year in the Gané area.*

Zone écologique	Année	Nombre de pieds	Densité (nombre/ha)
Champs de brousse	2009	167	1,3
Champs de case	2009	925	7,3
Champs de brousse	2013	733	5,8
Champs de case	2013	2 021	16,0
Champs de brousse	2018	3 176	25,2
Champs de case	2018	6 305	50,0



**Figure 12.**

Évolution globale des couverts arborés estimés par cartographie. Les points rouges indiquent les moyennes. *Overall evolution of tree cover estimated by mapping. Red dots indicate averages.*



**Figure 13.** Évolution globale du nombre d'arbres par classe de surface de houppier à l'échelle des terroirs de Gané et de Sirlawé. L'échelle d'affichage a été modifiée pour permettre de visualiser les variations dans les valeurs faibles. *Overall evolution of the number of trees by crown area classes at the Gané and Sirlawé terroirs. The display scale has been modified to allow visualization of variations in the low values.*

il n'y a pas de différence significative entre les nombres d'individus par placette en 2009 et en 2013, mais cette augmentation est significative entre ces deux dates et 2018 (figure 11).

### Évolution globale des recouvrements arborés à l'échelle de chaque terroir

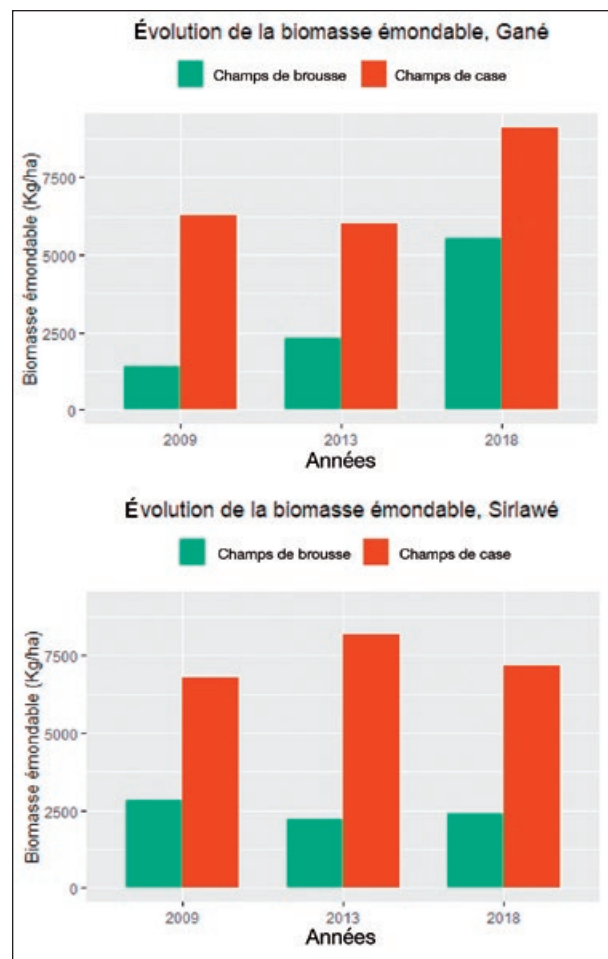
Notre analyse a montré que, sur chacun des terroirs, le recouvrement arboré moyen pour 4 ha a plus que doublé entre 2009 et 2018 (figure 12). Sur les sites de Sirlawé et de Gané, le recouvrement arboré moyen est respectivement passé de 985 à 2 348 m<sup>2</sup> pour 4 ha (2,5 % à 5,9 %) et de 980 à 2 302 m<sup>2</sup> (2,5 % à 5,8 %). Sur chacun des sites, la densification du couvert arboré est plus nette entre 2013 et 2018 ( $p < 10e-7$ ) qu'entre 2009 et 2013. De même que pour le nombre d'arbres, sur le site de Sirlawé, le recouvrement moyen ne varie pas significativement entre 2009 et 2013 ( $p > 0,05$ ).

### Évolution globale du nombre d'arbres par classe de surface de houppier à l'échelle des terroirs de Gané et Sirlawé

L'augmentation du nombre d'arbres observée et probablement celle du recouvrement arboré sont dues essentiellement aux arbres de petite couronne (classes de couronne 1 et 2). Entre 2013 et 2018, le nombre d'arbres de classe de surface de houppier 1 a presque quadruplé sur le terroir de Gané, alors que sur le terroir de Sirlawé ce nombre a presque doublé (figure 13). Le nombre d'arbres de grande surface de houppier (classes 4 et 5) a par contre diminué sur les deux terroirs entre 2009 et 2018.

### Impact de l'évolution du nombre d'arbres par classe de surface de houppier sur l'évolution de la production de bois-énergie de chaque terroir

Malgré l'augmentation globale du nombre d'arbres et du recouvrement arboré observée entre 2009 et 2018, la quantité calculée de biomasse ligneuse émondable et donc du bois-énergie n'a pas augmenté de façon significative à



**Figure 14.** Évolution de la biomasse émondable par hectare des parcs arborés, calculée par cartographie des houppiers au sein des zones agroécologiques des terroirs de Gané et de Sirlawé. *Evolution of the prunable biomass per hectare of tree parks, calculated by mapping tree crowns in the agro-ecological zones of the Gané and Sirlawé terroirs.*

Sirlawé. Elle croît cependant à Gané, en particulier dans les champs de brousse. Dans tous les cas, la biomasse émondable est plus importante dans les champs de case que dans les champs de brousse (figures 14). Les terroirs deviennent plus denses mais en arbres ou arbrisseaux de petite surface de houppier, ce qui contribue faiblement à la quantité calculée de biomasse émondable.

## Discussion et conclusion

### Inventaire de 2012

Au titre de la reconstitution de biomasse entre les deux émondages, sur une durée de 6 à 8 ans, les résultats dénotent une large différence entre les deux terroirs villa-geois. Le taux de reconstitution de biomasse à Sirlawé en 2012 était de 27 % ( $\pm 10,7$ ) et il était beaucoup plus important pour Gané : 127 % ( $\pm 26$ ). Si, par manque de données, il est difficile à Sirlawé de comparer les taux de reconstitution individuels de biomasse des arbres en fonction de différents facteurs du milieu recueillis lors des enquêtes des propriétaires (principalement : qualité du sol et profondeur de la nappe d'eau où est l'arbre), quelques hypothèses peuvent être avancées avec réserve au sujet de Gané, où il semble que la profondeur de la nappe d'eau ait une influence : moins la nappe d'eau est profonde, plus le taux de reconstitution de biomasse était élevé.

Par ailleurs, le croisement des résultats d'enquête sur la consommation en bois-énergie (2 kg/habitant/jour à Gané et 0,9 kg/habitant/jour à Sirlawé) (Marquant, 2012) permet de montrer qu'en 2012 le parc à *F. albida* pouvait assurer (par gestion durable, sous réserve de la survie des arbres après deux émondages qui n'a pas été étudiée) un quart des besoins annuels en bois-énergie domestique de 1 600 et 1 800 personnes, respectivement à Gané et Sirlawé.

### Suivi des parcs arborés par télédétection : une approche assez précise qui reste à améliorer

La cartographie des couverts arborés par une extraction basée sur une approche orientée-objet semble assez précise pour le suivi de la ressource arborée dans les terroirs au Nord-Cameroun, si l'on se réfère à la précision visuelle. Cependant, il serait difficile à partir de cette cartographie d'estimer la densité d'une seule espèce d'intérêt particulier, comme *F. albida*, vu que plusieurs espèces cohabitent dans la strate arborée de ces terroirs. En effet, les études de Manlay *et al.* (2004) et de Smektala *et al.* (2005) dans la même zone ont recensé plusieurs espèces arborées dont des faidherbias, des eucalyptus, des jujubiers, des ficus, des palmiers doum et des neems (photos 9 et 10). Notre cartographie exprime la surface du houppier des arbres projetée verticalement. De ce fait, cette cartographie pourrait être influencée par les imbrications de différents houppiers ou encore par des individus d'arbres très défeuillés au moment de la prise des images (Saïdi *et al.*, 2018), comme c'est le cas pour plusieurs espèces en saison sèche. De plus, par manque de données de mesure de terrain concomitantes aux images analysées, cette cartographie ne permet pas de connaître la surface minimale de houppier détectée. Or, la taille du houppier d'un arbre a un effet sur sa détectabilité (Thieme *et al.*, 2011) par les images satellitaires.

### Inventaire versus cartographie par image satellite : quelle est l'influence des faidherbias ?

La comparaison entre l'inventaire effectué en 2012 et l'interprétation de l'image *Google Earth* de 2013 montre des différences non négligeables, en particulier pour les arbres ayant un houppier de petite taille (classes de houppier 1 et 2, soit entre 2 et 100 m<sup>2</sup>) ou pour ceux qui perdent tout ou



#### Photos 9 et 10.

Même si la densification du parc arboré du pays Tupuri a porté sur *Faidherbia albida*, celui-ci est multispécifique, surtout dans les champs de brousse, avec des arbres ayant des formes de houppier très contrastées (*Ficus gnaphalocarpa* à gauche et palmiers doum, au second plan, à droite).

Although the densification of the tree stock in Tupuri country has focused on *Faidherbia albida*, it is multi-species, especially in the bush fields, with trees having very contrasting crown shapes (*Ficus gnaphalocarpa* on the left and doum palms, in the background, on the right). Photos R. Peltier.



partie de leurs feuilles en saison de prise d'image. Contrairement à ce qui serait attendu, cela concerne en particulier les faidherbias. En effet, même si ceux-ci sont réputés garder leur feuillage en saison sèche, cela est variable suivant les individus, l'accès à la nappe phréatique de leur enracinement et surtout selon le mode de gestion. Comme l'a montré Depommier (1998), selon l'intensité et la fréquence des coupes, l'émondage perturbe fortement les rythmes phénologiques des faidherbias. La difficulté de cartographier les faidherbias de petit houppier – individus jeunes, défeuillés ou émondés – a été également soulignée par Triboulet (1996). De même, des travaux récents (Lelong *et al.*, 2020) ont montré la difficulté de cartographier les faidherbias compte tenu de leur réflectance.

De ce fait, l'estimation cartographique du nombre de faidherbias n'est à peu près fiable que pour les arbres ayant un houppier de plus de 100 m<sup>2</sup> de surface, ce qui réduit fortement la fiabilité de la méthode. L'évolution mesurée au cours des neuf années entre 2009 et 2018, tant pour les taux de recouvrement que le nombre estimé d'individus, ne traduit pas forcément la poursuite du processus de sélection de nouveaux arbres par RNA au cours de ces années, mais plutôt le fait que des arbres qui ont été sélectionnés antérieurement sont passés dans des catégories mesurables.

Par ailleurs, il faut noter que la fiabilité de la présente étude est entachée par le fait que la délimitation des parcelles d'inventaire de 2012 avait été faite à l'aide d'un GPS peu précis. De ce fait, il a été difficile de faire correspondre ces parcelles avec celles sur lesquelles les mesures cartographiques ont été effectuées (erreur estimée à environ 20 % de la surface). En outre, la cartographie concerne toutes les espèces présentes alors que la projection des houppiers n'a été faite sur le terrain que pour les faidherbias. Enfin, dans une moindre mesure, l'image de 2013 ne correspond pas à la date de l'inventaire réalisé en 2012. En effet, la différence liée à l'écart entre les dates serait faible car la possibilité d'émondage et d'abattage est limitée pour les agriculteurs à cause de la loi forestière.

### Une évolution non significative de la biomasse émondable calculée, malgré la densification observée des parcs

Sur chacun des deux terroirs, la densification observée diffère selon les zones écologiques. Les champs de case sont plus denses et ont plus de biomasse ligneuse émondable que les champs de brousse. Ce résultat serait lié aux pratiques agricoles locales qui diffèrent selon qu'il s'agit des champs de case ou de brousse (Smektala *et al.*, 2005). En effet, dans les champs de brousse, souvent destinés à la culture du coton et qui bénéficient autant que possible d'apport d'engrais chimique, les espèces d'arbres fertilisants, comme le faidherbia, sont moins conservées (Marquant, 2012).

De façon générale, il n'y a pas d'augmentation significative de la biomasse émondable calculée qui accompagne l'augmentation du nombre d'arbres et du couvert arboré observée. Cela s'explique par le fait que l'augmentation du nombre d'arbres et du couvert arboré est essentiellement due aux arbres de petite surface de houppier. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer

le nombre croissant des arbres de petit houppier. Elle peut être liée à une erreur de comptage automatique par notre approche de cartographie. Ainsi, certains gros arbres seraient cartographiés par plusieurs polygones et donc comptés comme plusieurs petits arbres. Il est aussi possible qu'il s'agisse d'une réelle évolution du peuplement, avec une diminution de la taille des houppiers du fait d'un émondage de plus en plus sévère (photo 11). Il est aussi envisageable que les gros faidherbias aient dépéri suite à une baisse de la réserve en eau et de la hauteur de la nappe phréatique, qui pourrait être due aux changements climatiques, à l'augmentation des prélèvements humains ou à celle du nombre d'arbres puisant leur eau dans la nappe. En effet, Ward et Breen (1983) ont observé des phénomènes de dépérissement de *Faidherbia albida*, suite à une période de sécheresse prolongée. Enfin, la croissance en nombre des arbres aux petits houppiers peut être due aux effets mixtes combinés de tous ces facteurs.

Pour mieux cerner la dynamique de ces parcs arborés, il faudra donc admettre qu'il est indispensable de faire un minimum de vérifications *in situ*. De plus, pour mieux caler l'approche méthodologique de suivi par télédétection de la ressource ligneuse en général, et en particulier de celle des faidherbias de ces parcs, il faudra des données de mesure sur le terrain qui correspondent à la période de prise de vue des images satellitaires à utiliser.

Évaluer l'évolution de la ressource arborée dans les terroirs villageois de Sirlawé et Gané dans le Nord-Cameroun entre 2009 et 2018, par l'interprétation d'images *Google Earth* acquises en saison sèche, représentait l'objectif de cette étude. Cette évaluation a été faite à travers la cartographie des couverts arborés par une photo-interprétation semi-automatique basée sur une analyse orientée-objet.



**Photo 11.**

Émondage excessif et probablement non durable d'un gros *Faidherbia* à Sirlawé en 2012.

*Excessive and probably unsustainable pruning of a large *Faidherbia* in Sirlawé in 2012.*

Photo R. Peltier.

Au terme de ce travail, il apparaît que, sur les deux sites, le couvert arboré s'est densifié, très probablement comme la résultante des impacts des projets DPGT et ESA, et en particulier de la diffusion de la technique de RNA soutenue par une subvention de 1997 à 2008. La densification est plus élevée dans les champs de case que dans les champs de brousse, en raison des pratiques agricoles locales qui diffèrent selon les types de champs.

L'hypothèse principale de cette étude est donc en partie vérifiée, puisqu'il est possible d'évaluer le nombre et la surface des houppiers d'arbres en région soudano-sahélienne en analysant des images *Google Earth*, mais avec une assez forte erreur potentielle. La première hypothèse secondaire n'est pas vérifiée car l'imprécision sur l'évaluation des *Faidherbia albida* est forte ; il en est certainement de même pour tous les arbres qui perdent leur feuillage à une période de l'année. Les deux autres hypothèses secondaires se trouvent vérifiées, à savoir qu'il est indispensable de disposer, à une date et sur une zone données, à la fois d'un inventaire au sol précis et d'une image satellite de bonne qualité, et qu'il sera alors possible de suivre l'évolution du couvert arboré d'un territoire donné, sur une période où l'on dispose d'images de bonne qualité ainsi que des équations allométriques *ad hoc*. On pourra alors en déduire l'évolution de la biomasse arborée de ce peuplement, voire de sa productivité en bois, selon un type déterminé de gestion.

Les hypothèses de départ ne sont donc qu'en partie démontrées et d'autres techniques méritent d'être testées.

Il est espéré qu'un nouveau programme de recherche puisse débiter ses travaux vers la mi-2022, afin de refaire des inventaires plus précis et de tester d'autres types d'images satellitaires. L'évolution du recouvrement arboré des villages touchés par la politique de RNA subventionnée pourrait être comparée à celle de villages proches écologiquement et socio-économiquement, mais non concernés par cette politique, en particulier au Tchad, immédiatement au sud de Gané. Ce programme permettrait également de réaliser des enquêtes auprès des agriculteurs pour déterminer leur perception sur l'intérêt de la politique d'appui à la RNA lancée dans les années 1990, sur la nécessité ou non de continuer à densifier ces parcs et avec quelles espèces, ainsi que sur les problèmes liés à la gestion durable de ces systèmes agroforestiers (foncier, taxation, législation, marché, etc.). Ce programme pourrait également s'intéresser à l'évolution des parcs arborés hors du pays Toupouri, par exemple dans les terroirs de la zone Nord-Bénoué, afin d'apprécier l'extension des parcs par des actions du projet PASGIRAP (Programme d'appui à la sécurisation et à la gestion intégrée des ressources agropastorales au Nord-Cameroun). Ce projet ultérieur aux projets Développement paysannal et gestion de terroirs (DPGT) et ESA n'ayant pas utilisé de subvention, cela pourrait ouvrir la voie à de nouvelles actions de développement visant à relancer la politique de densification et d'extension des parcs agroforestiers du Nord-Cameroun (photo 12).



**Photo 12.**

Femmes et enfants au puits, dans le parc à *Faidherbia* de Gané. L'avenir du village nécessite une gestion durable de cet agrosystème, et la recherche peut et doit y participer. *Women and children at the well in the Faidherbia park in Gané. The future of the village requires sustainable management of this agrosystem, and research can and must play a part in this.*  
Photo R. Peltier.

### Remerciements et dédicace

Les auteurs tiennent à remercier les agriculteurs de Gané et Sirlawé qui ont accepté d'émonder leurs arbres, les collègues de l'Irad qui les ont accompagnés (en particulier J.-M. Tapsou et A. Njiémoun) ainsi que Justin Mana qui avait encadré les opérations de RNA dans la zone et qui a servi de facilitateur. Malheureusement, ce dernier est décédé quelques jours après notre dernier passage sur le terrain, le 20 décembre 2021, C'est pourquoi cet article lui est dédié. Au sein, entre autres, des projets Nord-Est Bénoué, DPGT, ESA 1 & 2, en partenariat entre la Sodécoton, l'Irad et divers organismes, il avait été la cheville ouvrière de tout ce qui s'est fait en matière de reboisement, d'essais forestiers et agroforestiers, d'encadrement des pépiniéristes et des planteurs, dans les régions du Nord et de l'Extrême-Nord, entre 1980 et 2020. Plus d'un million d'arbres qui dressent leurs houppiers dans le ciel du Cameroun et qui plantent leurs racines dans les champs des paysans, lui doivent en grande partie la vie, c'est pourquoi son œuvre ne disparaîtra pas.

### Financements

Les premiers inventaires, effectués sur les parcs à *faidherbia* de Gané et de Sirlawé en 2004 et 2005, ont été cofinancés par l'École nationale des eaux et forêts (ENGREF) de Montpellier, par l'Institut de recherche agricole pour le développement (IRAD) de Maroua et par le Pôle régional de recherche appliquée au développement des savanes d'Afrique Centrale (PRASAC). L'inventaire de 2012 a été financé par le Cirad et a reçu l'appui matériel de l'IRAD. Les travaux de cartographie de 2021 ont été financés par le Cirad et ont reçu l'appui matériel du projet européen RESINOC.

### Accès aux données

Les données utilisées pour cet article ont été stockées sur l'entrepôt numérique du Cirad et sont en accès libre avec le lien internet suivant : <https://doi.org/10.18167/DVN1/SRC-CDM>

## Références

- Bates D. M., Watts D. G., 2007. *Nonlinear Regression Analysis and Its Applications*. Wiley, USA, 392 p. [\[Crossref\]](#)
- Benz U. C., Hofmann P., Willhauck G., Lingenfelder I., Heynen M., 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58 (3-4): 239-258. [\[Crossref\]](#)
- Berrahmouni N., Regato P., Parfondry M., 2016. Directives mondiales pour la restauration des forêts et des paysages dégradés dans les terres arides. Rome, Italie, FAO, 175, 190 p. [\[FAO\]](#)
- Blaschke T., Hay G. J., 2001. Object-oriented image analysis and scale-space: theory and methods for modeling and evaluating multiscale landscape structure. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34 (4): 22-29. [\[Crossref\]](#)
- Brabant P., Gavaud M., 1985. Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun. Paris, France, Orstom, 369 p. [\[IRD\]](#)
- Brandt M., Tucker C. J., Kariryaa A., Rasmussen K., Abel C., Small J., et al., 2020. An unexpectedly large count of trees in the West African Sahara and Sahel. *Nature*, 587: 78-82. [\[Crossref\]](#)
- Costa H., Benevides P., Marcelino F., Caetano M., 2020. Introducing automatic satellite image processing into land cover mapping by photo-interpretation of airborne data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3/W11: 29-34. [\[Crossref\]](#)
- Daget P., 1999. Évaluer la densité des ligneux par la méthode des dénombrements ? Une difficulté. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 52 (3-4) : 270-271. [\[Crossref\]](#)
- Depommier D., 1998. Étude phénologique de *Faidherbia albida*. Effet de l'émondage, du site et de la dimension de l'arbre sur les phénophases de l'espèce au Burkina Faso. In : Campa C., Grignon C., Gueye M., Hamon S. (éds). *L'acacia au Sénégal*. Paris, France, Orstom, coll. Colloques et séminaires, 159-179. [\[IRD\]](#)
- Depommier D., Détienne P., 1996. Croissance de *Faidherbia albida* dans les parcs du Burkina Faso. Étude des cernes annuels dans la tige et le pivot racinaire. In : Peltier (éd.). *Les parcs à Faidherbia = [Faidherbia Parklands]*. Montpellier, France, Cirad-Forêt (Cahiers scientifiques, 12), 23-43. [\[Cirad\]](#)
- Gangaraju M., Anitha P., Krishna T. V., Sravankumar A., 2017. Spatio-temporal changes of land use/land cover of Pindrangi village using high resolution satellite imagery. *Journal of Applied Geology and Geophysics*, 5 (4): 40-44. [\[Crossref\]](#)
- Ghaffarian S., Ghaffarian S., 2014. Automatic Building Detection based on Supervised Classification using High Resolution *Google Earth* Images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL (3): 101-106. [\[Crossref\]](#)
- Hammi S., Simonneaux V., Alifriqui M., Auclair L., Montes N., 2007. Évolution des recouvrements forestiers et de l'occupation des sols entre 1964 et 2002 dans la haute vallée des Ait Bouguemez (Haut Atlas Central, Maroc). Impact des modes de gestion. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 18 (4) : 1-7. [\[Hal-Archives\]](#)
- ITT Visual Information Solutions, 2009. *ENVI EX User's Guide*. IDL, US, 275 p. [\[ITT\]](#)
- Lelong C. C. D., Tshingomba U. K., Soti V., 2020. Assessing Worldview-3 multispectral imaging abilities to map the tree diversity in semi-arid parklands. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 93102211. [\[Crossref\]](#)
- Manlay R., Ntoupka M., Palou Madi O., Sibelet N., 2004. Gérer les parcs à *Faidherbia albida* pour la production de bois. Quelles potentialités dans le quartier de Sirlawé I, pays tupuri, Cameroun ? Étude réalisée du 8 au 27 février 2004. Montpellier, France, Engref. [\[Agritrop\]](#)
- Marquant B., 2012. Potentialité de productivité et sociologie de l'action organisée autour de parcs à *Faidherbia albida* en pays Toupouri (Nord-Cameroun). Mémoire de master, Agro-ParisTech, Montpellier, France, 84 p. [\[Agritrop\]](#)
- Mo L.-J., Cao Y., Hu Y.-M., Liu M., Xia D., 2012. Object-oriented classification for satellite remote sensing of wetlands: A case study in southern Hangzhou bay area. *Wetland Science*, 10 (2): 206-213.
- Montagne P., 1996. Protection de la régénération naturelle de *Faidherbia albida* : évaluation a posteriori du projet Gao Doss au Niger. In : Peltier R. (éd.). *Les parcs à Faidherbia*. Montpellier, France, Cirad-Forêt (Cahiers scientifiques, 12), 283-296. [\[Agritrop\]](#)
- Peltier R., 1996. *Les parcs à Faidherbia*. Versailles, France, Éditions Quæ, 312 p.
- Ploton P., Péliissier R., Proisy C., Flavenot T., Barbier N., Rai S. N., et al., 2012. Assessing aboveground tropical forest biomass using *Google Earth* canopy images. *Ecological Applications*, 22 (3): 993-1003. [\[Crossref\]](#)
- Poilecot P., Saidi S., Daget P., 2013. Stratégie de pâturage d'une population d'éléphants en saison sèche : le cas du parc de Zakouma au Tchad. *Bois et Forêts des Tropiques*, 317 (3) : 59-70. [\[Crossref\]](#)
- Provencher L., Dubois J.-M. M., 2007. *Précis de télédétection*. Volume 4 : Méthodes de photointerprétation et d'interprétation d'image. Québec-city, Canada, Presses de l'Université du Québec, 465 p. [\[Université du Québec\]](#)
- Rittl T., Cooper M., Heck R. J., Ballester M. V. R., 2013. Object-Based Method Outperforms Per-Pixel Method for Land Cover Classification in a Protected Area of the Brazilian Atlantic Rainforest Region. *Pedosphere*, 23 (3): 290-297. [\[Crossref\]](#)
- Saïdi S., Louppe D., Le Bel S., 2018. Approcher la densité des ligneux par l'indice perpendiculaire de végétation : cas d'une savane arborée au nord de la Tanzanie. *Bois et Forêts des Tropiques*, 337 (3) : 39-51. [\[Crossref\]](#)
- Schnell S., Kleinn C., Ståhl G., 2015. Monitoring trees outside forests: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187 (9): 1-17. [\[Crossref\]](#)

- Seignobos C., 1982. Matières grasses, parcs et civilisations agraires (Tchad et Nord-Cameroun). Les Cahiers d'Outre-Mer, 35 (139) : 229-269. [Crossref]
- Seignobos C., 1995. Terroir de Balaza Domayo. Saturation foncière et muskuwaari. DPGT/ORSTOM, MINAGRI, Cameroun, 64 p.
- Seignobos C., 2016. Chronique d'un siècle : Boko Haram dans le lac Tchad 2015-2016. Afrique Contemporaine, 259 : 139-167. [Cairn]
- Shojanoori R., Shafri H. Z. M., Mansor S., Ismail M. H., 2018. Generic rule-sets for automated detection of urban tree species from very high-resolution satellite data. Geocarto International, 33 (4): 357-374. [Crossref]
- Smektala G., Peltier R., Sibelet N., Leroy M., Manlay R., Njiti C. F., et al., 2005. Parcs agroforestiers sahéliens : de la conservation à l'aménagement. Vertigo, 6 (2) : 25. [Crossref]
- Taylor J. R., Lovell S. T., 2012. Mapping public and private spaces of urban agriculture in Chicago through the analysis of high-resolution aerial images in *Google Earth*. Landscape and Urban Planning, 108 (1): 57-70. [Crossref]
- Teyssier A., Ousman H., 1995. Gestion de terroirs et gestion de ressources naturelles au Nord-Cameroun. Première année d'exercice : orientations, mise en place du dispositif et démarrage des actions. Garoua, Cameroun, Sodécoton, 66 p. [Agritrop]
- Thieme N., Bollandsås O. M., Gobakken T., Næsset E., 2011. Detection of small single trees in the forest-tundra ecotone using height values from airborne laser scanning. Canadian Journal of Remote Sensing, 37 (3): 264-274. [Crossref]
- Traore S. S., Landmann T., Forkuo E. K., Traore P. C. S., 2014. Assessing Long-Term Trends In Vegetation Productivity Change Over the Bani River Basin in Mali (West Africa). Journal of Geography and Earth Sciences, 2 (2): 21-34. [Crossref]
- Triboulet C., 1996. Identification des parcs à *Faidherbia albida* par télédétection : premiers travaux réalisés au Nord-Cameroun. In : Peltier R. (éd.). Les parcs à *Faidherbia*. Montpellier, France, Cirad-Forêt (Cahiers scientifiques, 12), 203-216. [Cirad]
- Wang Y., Xiaodong Y., 2017. Climate change induced by Southern Hemisphere desertification. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 102: 40-47. [Crossref]
- Ward J. D., Breen C. M., 1983. Drought stress and the demise of *Acacia albida* along the lower Kuiseb river, central Namib Desert: preliminary findings. South African Journal of Science, 79 (11): 444-447.
- Zeidan Z. M., Beshr A. A., Soliman S. S., 2019. Monitoring the change in land surface temperature and urban areas using Satellite images. Case study Kafr El-Sheikh City – Egypt. Geodesy and Cartography, 68 (2): 389-404. [Crossref]

### Akodewou et al. – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	R. Peltier, A. Akodewou
Gestion des données	A. Akodewou
Analyse formelle	A. Akodewou
Acquisition du financement	R. Peltier
Enquête et investigation	B. Marquant, A. Akodewou, R. Peltier
Méthodologie	A. Akodewou
Gestion de projet	R. Peltier, A. Akodewou, O. Palou
Ressources	O. Palou
Logiciels	B. Marquant, A. Akodewou
Supervision	R. Peltier
Validation	B. Marquant, A. Akodewou
Visualisation	R. Peltier, A. Akodewou
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	R. Peltier
Écriture – Révision et édition	B. Marquant, A. Akodewou, O. Palou, R. Peltier

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad -  
© Bois et Forêts des Tropiques © Cirad



Cirad - Campus international de Baillarguet,  
34398 Montpellier Cedex 5, France  
Contact : [bft@cirad.fr](mailto:bft@cirad.fr) - ISSN : L-0006-579X

**Lisette MANGAZA**<sup>1,2,3</sup>  
**Jean-Remy MAKANA**<sup>3</sup>  
**Wannes HUBAU**<sup>4,5</sup>  
**Denis Jean SONWA**<sup>6</sup>  
**Germain BATSI**<sup>7</sup>  
**Adeline FAYOLLE**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Liège  
Gembloux Agro-Bio Tech  
TERRA Teaching and Research Centre,  
Forest is Life  
Gembloux  
Belgique

<sup>2</sup> Université de Goma  
Faculté des sciences  
Goma  
République démocratique du Congo

<sup>3</sup> Université de Kisangani  
Faculté des Sciences  
Kisangani  
République Démocratique du Congo

<sup>4</sup> Musée royal de l'Afrique centrale  
Service de biologie du bois  
Tervuren  
Belgique

<sup>5</sup> Université de Gand  
Département de l'environnement  
Laboratoire de technologie du bois  
(Woodlab)  
Gand  
Belgique

<sup>6</sup> Center for International Forestry  
Research (CIFOR)  
Yaoundé  
Cameroun

<sup>7</sup> Université de Kisangani  
Faculté de gestion des ressources  
naturelles renouvelables  
Kisangani  
République démocratique du Congo

**Auteur correspondant /**  
**Corresponding author:**  
Lisette MANGAZA  
[lisemangaza@gmail.com](mailto:lisemangaza@gmail.com)

# Impacts du changement d'utilisation des terres sur la biomasse et la diversité dans le paysage forestier de la réserve de biosphère de Yangambi en République démocratique du Congo



**Photo 1.**  
Forêt mature.  
Photo L. Mangaza.

**Doi :** 10.19182/bft2022.353.a36836 – Droit d'auteur © 2022, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 10 janvier 2022 ; date d'acceptation : 2 mai 2022 ; date de publication : 1<sup>er</sup> septembre 2022.



Licence Creative Commons :  
Attribution - 4.0 International.  
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

## Citer l'article / To cite the article

Mangaza L., Makana J.-R., Hubau W., Sonwa D. J., Batsi G., Fayolle A., 2022. Impacts du changement d'utilisation des terres sur la biomasse et la diversité dans le paysage forestier de la réserve de biosphère de Yangambi en République démocratique du Congo. Bois et Forêts des Tropiques, 353 : 61-73. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2022.353.a36836>

## RÉSUMÉ

### Impacts du changement d'utilisation des terres sur la biomasse et la diversité dans le paysage forestier de la réserve de biosphère de Yangambi en République démocratique du Congo

Les forêts tropicales de la République démocratique du Congo sont menacées par la déforestation et la dégradation forestière, qui affectent la structure et la diversité arborée. Cette étude a pour objectif de quantifier les pertes de biomasse et de diversité liées à la déforestation et à la dégradation, en se concentrant sur la réserve de biosphère de Yangambi. Quatre parcelles de 50 m x 50 m ont été inventoriées dans chacun des huit types d'utilisation des terres identifiés : la forêt mixte, la forêt mixte à *Gilbertiodendron dewevrei*, les champs des cultures vivrières, les jachères (5 à 10 ans), les forêts secondaires (20 à 40 ans), les plantations de cacaoyers, les plantations de caféiers et les plantations de palmiers à huile. Les stocks de biomasse dans les forêts matures s'élèvent à environ 400 et 380 Mg/ha respectivement pour la forêt à *G. dewevrei* et la forêt mixte. Les résultats montrent que la forêt mixte perd 50, 70 et 90 % de sa biomasse aérienne quand elle est convertie en plantations de cacaoyers, caféiers et palmiers, respectivement, et la quasi-totalité (99 %) lorsqu'elle est convertie en champs de cultures vivrières ; mais quand le champ est abandonné, la biomasse se reconstitue progressivement à 7,5 % après 5 à 10 ans et à 38,8 % après 20 à 40 ans. La diversité est aussi impactée par la conversion, et, bien que la richesse spécifique semble se reconstituer plus rapidement que la biomasse, la composition est fondamentalement modifiée. Ces résultats fournissent des informations essentielles pour quantifier les impacts des solutions « naturelles » pour lutter contre le changement climatique : la protection des forêts matures, l'amélioration de la gestion forestière et le reboisement ; même si l'approche doit être étendue à plus grande échelle.

**Mots-clés :** attributs structuraux, bassin du Congo, biomasse aérienne, composition, diversité, réserve de biosphère de Yangambi, utilisation des terres, République démocratique du Congo.

## ABSTRACT

### Impacts of land use change on biomass and diversity in the forest landscape of the Yangambi Biosphere Reserve in the Democratic Republic of Congo

The tropical forests of the Democratic Republic of Congo are threatened by deforestation and forest degradation, which affect tree structure and diversity. This study aims to quantify biomass and diversity losses resulting from deforestation and degradation, with a focus on the Yangambi Biosphere Reserve. Inventories were conducted in four 50 m x 50 m plots in each of the eight land-use types identified: mixed mature forest, mature forest with *Gilbertiodendron dewevrei*, subsistence crop fields, fallows (5 to 10 years), secondary forests (20 to 40 years), and cacao, coffee and oil palm plantations. Biomass stocks in mature forests amounted to ~ 400 and 380 Mg/ha for *G. dewevrei* and mixed forest respectively. Our results show that mature forests lose 50, 70 and 90%, respectively, of their above-ground biomass when converted to cocoa, coffee and palm plantations, and almost all (99%) when converted to food crops. However, when a crop field is abandoned, above-ground biomass gradually recovers to 7.5% after 5-10 years and to 38.8% after 20-40 years. Conversion also has an impact on diversity, and although species richness appears to recover faster than biomass, its composition is fundamentally altered. Although the approach needs to be scaled up, these results provide essential information for quantifying the impacts of "natural" solutions to climate change, i.e. protection of mature forests, improved forest management and reforestation.

**Keywords:** structural attributes, Congo Basin, above-ground biomass, composition, diversity, Yangambi Biosphere Reserve, land use, Democratic Republic of Congo.

## RESUMEN

### Impactos del cambio de uso del suelo sobre la biomasa y la diversidad en el paisaje forestal de la Reserva de la Biosfera de Yangambi, en la República Democrática del Congo

Los bosques tropicales de la República Democrática del Congo están amenazados por la deforestación y la degradación forestal, que afectan a la estructura y la diversidad de los árboles. Este estudio pretende cuantificar la pérdida de biomasa y de diversidad debida a la deforestación y a la degradación, centrándose en la Reserva de la Biosfera de Yangambi. Se han estudiado cuatro parcelas de 50 m x 50 m en cada uno de los ocho tipos de uso de la tierra identificados: bosque maduro mixto, bosque maduro de *Gilbertiodendron dewevrei*, campos de cultivo alimentario, barbecho (5 a 10 años), bosque secundario (20 a 40 años), plantaciones de árboles del cacao, plantaciones de cafetos y plantaciones de palma aceitera. Las existencias de biomasa en los bosques maduros ascienden a ~400 y 380 Mg/ha para el bosque de *G. dewevrei* y el bosque mixto, respectivamente. Los resultados muestran que el bosque maduro pierde el 50, el 70 y el 90 % de su biomasa aérea cuando se convierte en plantaciones de cacao, café y palma, respectivamente, y casi toda (99 %) cuando se convierte en campos de cultivos alimentarios; pero cuando se abandona el campo, la biomasa se recupera gradualmente hasta el 7,5 % después de 5-10 años y hasta el 38,8 % después de 20-40 años. La diversidad también se ve afectada por la conversión, y aunque la riqueza de especies parece recuperarse más rápidamente que la biomasa, la composición se altera fundamentalmente. Estos resultados proporcionan información esencial para cuantificar los impactos de las soluciones "naturales" en la lucha contra el cambio climático: protección de los bosques maduros, mejora de la gestión forestal y reforestación; aunque el enfoque debe ampliarse a una escala superior.

**Palabras clave:** atributos estructurales, cuenca del Congo, biomasa aérea, composición, diversidad, Reserva de la Biosfera de Yangambi, uso del suelo, República Democrática del Congo.

## Introduction

La République démocratique du Congo (RDC) contient 60 % du deuxième plus grand massif continu de forêt tropicale au monde (De Wasseige *et al.*, 2015), et la forêt congolaise représente près du quart de toutes les forêts de l'Afrique subsaharienne (Saatchi *et al.*, 2011). Positionnées au cinquième rang mondial pour la diversité végétale et animale (Debroux *et al.*, 2007), les forêts de la RDC constituent un réservoir unique de biodiversité. Ces forêts jouent également un important rôle socio-économique, car la grande majorité de la population congolaise dépend de la forêt pour sa subsistance et le maintien de ses traditions culturelles (Debroux *et al.*, 2007). Cependant, les forêts congolaises subissent une forte dégradation (Pearson *et al.*, 2017) et une déforestation croissante principalement causée par les activités agricoles (Moonen *et al.*, 2019) qui ont des impacts négatifs sur le stock de carbone (Vancutsem *et al.*, 2021) et sur la diversité (Gibson *et al.*, 2011). Dans le bassin du Congo, la déforestation a longtemps été sous-estimée car c'est un phénomène à petite échelle, souvent en mosaïque, difficile à capter par télédétection classique (Vancutsem *et al.*, 2021). Ce modèle de déforestation peut bientôt changer, car la pression démographique croissante et les besoins alimentaires de plus en plus importants (Ickowitz *et al.*, 2015) poussent la population à défricher des étendues de plus en plus grandes (Defourny *et al.*, 2011).

La plupart des études utilisant des données d'inventaire à travers les régions tropicales qui portent sur les stocks (Makana *et al.*, 2011 ; Lewis *et al.*, 2013) et les flux (Hubau *et al.*, 2020) de carbone, la diversité floristique (Slik *et al.*, 2015) ou la relation entre la diversité et le carbone (Sullivan *et al.*, 2017) s'intéressent aux forêts intactes, et les forêts dégradées ou anthropisées sont rarement intégrées (Makana et Thomas, 2006). Cependant, ces zones forestières anthropisées sont importantes pour leur potentiel de séquestration du carbone (Lewis *et al.*, 2019), et de conservation et de restauration de la diversité (Chazdon *et al.*, 2009). Il est donc important de générer des connaissances précises sur la contribution de ces forêts au stockage du carbone et de la diversité afin de fournir aux décideurs, au niveau national et local, des informations qui leur permettront de mettre en place des stratégies de gestion, protection, et restauration du carbone et de la diversité.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les stocks de biomasse (carbone) et la diversité dans différents types d'utilisation des terres couvrant un gradient de dégradation et de déforestation, et de reconstitution forestière (succession écologique). Cette étude se concentre plus particulièrement sur la réserve de biosphère de Yangambi, située au cœur du massif forestier de la RDC.

De manière spécifique, cette étude vise à :

- évaluer l'impact des différents types d'utilisation des terres sur les caractéristiques structurales, y compris la biomasse aérienne ;
- déterminer les variations de composition floristique et de diversité entre types d'utilisation des terres ;
- tester l'existence d'une relation entre la structure, la composition et la diversité.

## Matériels et méthodes

### Zone d'étude

Ce travail a été réalisé dans la réserve de biosphère de Yangambi, située dans la province de la Tshopo en RDC, à 100 km à l'ouest de la ville de Kisangani (24°16'95" et 25°08'48" longitude Est ; 0°38'77" et 1°10'20" latitude Nord). Le climat est équatorial continental, type Af selon la classification de Köppen. Les moyennes annuelles des précipitations et de température sont, respectivement, de 1 830 mm et 25,0 °C (Likoko *et al.*, 2019). Les sols du plateau de Yangambi sont majoritairement des ferralsols<sup>1</sup>.

La végétation de la réserve comprend la forêt mixte, la forêt mixte à *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard et les peuplements anthropisés (jachères et forêts secondaires), conséquence de l'agriculture itinérante sur brûlis qui est l'activité principale des populations locales. Les cultures dominantes sont le manioc, le riz, le maïs, l'arachide et la banane plantain. Les cultures pérennes telles que le cacaoyer, l'hévéa, le palmier à huile et le caféier ont été introduites à l'époque coloniale par l'Institut national pour l'étude agronomique du Congo belge (INEAC), aujourd'hui Institut national pour l'étude et la recherche agronomique (INERA). Les anciennes plantations datent des années 1940-1960, et sont encore exploitées. Les parcelles considérées dans le cadre de cette étude datent de 1984 pour le palmier à huile. Une série de nouvelles plantations ont été installées vers les années 2000, principalement pour le cacaoyer et le caféier. Dans le cadre de cette étude, les parcelles concernées ont été mises en place en 2003, 2005 et 2014 pour le cacaoyer, et en 2009 pour le caféier. Ces parcelles ont été installées dans les zones forestières dégradées, et un grand nombre d'arbres forestiers a été laissé en place lors de l'installation des plantations agricoles.

### Collecte des données

Huit types d'utilisation des terres ont été inventoriés dans la réserve de biosphère de Yangambi, à savoir la forêt mixte, la forêt mixte à *G. dewevrei*, les forêts secondaires (20 à 40 ans), les jachères (5 à 10 ans), les plantations de cacaoyers, les plantations de caféiers, les plantations de palmiers à huile et les champs de cultures vivrières (manioc principalement). Pour chaque type d'utilisation des terres, quatre parcelles de 50 m x 50 m, soit 0,25 ha, ont été établies. Les parcelles étaient distantes les unes des autres d'environ 150 m dans les types d'utilisation des terres forestières dont la forêt mixte, la forêt mixte à *G. dewevrei*, les forêts secondaires et les jachères ; et de 15 m dans les types d'utilisation des terres agricoles, à savoir les plantations de cacaoyers, les plantations de caféiers, les plantations de palmiers à huile et les champs de cultures vivrières. Un total de 32 parcelles (soit 8 ha) a donc été installé sur le terrain. Au sein de chaque parcelle, un inventaire complet des arbres de diamètre à hauteur de la poitrine (1,30 m) ≥ 10 cm a été réalisé. Les arbres ont été mesurés et identifiés par un botaniste expérimenté. Pour

<sup>1</sup> <https://soilgrids.org>



**Photo 2.**  
Forêt secondaire.  
Photo L. Mangaza.

chaque type de forêt (mature mixte, mature à *G. dewevrei*, jachère, secondaire), un sous-échantillon d'arbres a été sélectionné pour mesurer la hauteur totale (deux arbres par classe de diamètre de 10 cm d'amplitude). La hauteur a été mesurée à l'aide d'un Vertex à une distance au moins égale à la hauteur de l'arbre.



**Photo 3.**  
Jachère de 7 ans.  
Photo L. Mangaza.

## Analyse des données

Pour estimer la biomasse aérienne de chaque arbre, le modèle allométrique pantropical de Chave *et al.* (2014) a été utilisé. Ce modèle, biomasse =  $0,0673 \times (\rho D^2 H)^{0,976}$ , a été testé et validé en Afrique centrale sur un vaste échantillon de 845 arbres (Fayolle *et al.*, 2018). Comme les hauteurs ont été mesurées sur un sous-échantillon d'arbres (175 arbres mesurés sur 1 265 inventoriés au total, 13,8 %), un modèle allométrique hauteur-diamètre local a été ajusté pour estimer les hauteurs des arbres non mesurés. Sur la base de l'indice d'Aikake et de l'écart-type résiduel, le modèle de Michaelis-Menten initialement proposé par Molto *et al.* (2013) a été retenu (annexe 1). Un modèle spécifique à chaque type d'utilisation des terres forestières a été ajusté (annexe 1). Le modèle ajusté pour les jachères a été adopté pour estimer la hauteur des arbres individuels qui n'appartiennent pas aux cultures ligneuses mais se trouvent

dans les plantations. Pour chaque espèce, les valeurs moyennes de densité du bois disponibles dans les bases de données internationale (Zanne *et al.*, 2009) et régionale (Fayolle *et al.*, 2018) ont été collectées. Pour les espèces non renseignées, la moyenne du genre a été utilisée. Pour estimer la biomasse des arbres individuels appartenant aux cultures, des équations allométriques spécifiques ont été utilisées pour le cacaoyer (biomasse =  $10^{[-1,625 + 2,63 \times \log(d30)]}$ ) (Andrade *et al.*, 2008), le palmier à huile (biomasse =  $\exp(a + b \times \ln(D))$ ) (Migolet *et al.*, 2020) et le caféier (biomasse =  $0,281 \times D^{2,06}$ ) (Hairiah *et al.*, 2002).

Pour chaque parcelle, les attributs structuraux ont été calculés, à savoir la densité de tiges, la surface terrière, ainsi que la hauteur moyenne des arbres pondérée par la surface terrière ou hauteur de Lorey et la densité du bois moyenne pondérée par la surface terrière. La biomasse aérienne ligneuse a également été calculée et correspond à la somme des biomasses de tous les arbres de chaque parcelle extrapolée à l'hectare. Une ANOVA a été utilisée pour tester la variation des attributs structuraux entre les différents types d'utilisation des terres. Les conditions de normalité et d'homoscédasticité des résidus ont été vérifiées avec les tests de Shapiro et de Bartlett, respectivement. Lorsque l'hypothèse nulle, absence de différence entre les



moyennes pour chaque variable, était rejetée ( $P < 0,05$ ), des comparaisons multiples par paires ont été réalisées. Lorsque la distribution des données n'était pas normale, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été retenu.

La diversité a été mesurée sur la base de la richesse spécifique observée (Sobs) par parcelle de 0,25 ha, de l'indice alpha de Fisher et des courbes d'accumulation et de raréfaction. Le nombre d'espèces singletons (avec seulement un individu par parcelle) et doubletons (avec deux individus par parcelle) est fourni. Pour identifier les variations (gradients) de composition en espèces d'arbres, une analyse non symétrique des correspondances (NSCA) a été réalisée sur la matrice floristique (parcelles  $\times$  espèces) pour les utilisations des terres forestières.

Des modèles linéaires simples ont été adoptés pour déterminer la relation entre la biomasse aérienne à l'hectare et les attributs structuraux et indices de diversité.

Toutes les analyses ont été réalisées par le logiciel R version 4.0.5, sous son interface RStudio version 1.4.1106. Les packages suivants ont été utilisés : sitreeE (Fernandez, 2021) pour le calcul de la hauteur de Lorey, ade4 pour les ordinations (Dray et Dufour, 2007), vegan pour les analyses de diversité (Oksanen, 2020) et ggplot2 pour les graphiques (Wickham, 2016).

## Résultats

### Attributs structuraux

Un total de 3 432 arbres appartenant à 152 espèces et 36 familles botaniques ont été inventoriés dans les 32 parcelles (8 ha au total). La densité de tiges à l'hectare, la surface terrière, la hauteur de Lorey, la densité du bois moyenne et la biomasse aérienne varient significativement en fonction du type d'utilisation des terres (tableau I). La densité de tiges (arbres + cultures ligneuses) à l'hectare la plus élevée est observée dans les plantations de caféiers (1 106  $\pm$  358 tiges/ha) et la plus faible dans les champs de cultures vivrières (6  $\pm$  8 tiges/ha). La surface terrière est plus élevée dans la forêt mixte (31,6  $\pm$  5,7 m<sup>2</sup>/ha), et plus faible dans les champs de cultures vivrières (0,6  $\pm$  0,7 m<sup>2</sup>/ha). La hauteur de Lorey varie de 32,6  $\pm$  2 m dans la forêt mixte à *G. dewevrei* à 6,8  $\pm$  8,8 m



**Photo 4.**  
 Jachère de 5 ans.  
 Photo L. Mangaza.

dans les champs de cultures vivrières. La densité moyenne du bois est plus élevée dans la forêt mixte à *G. dewevrei* (0,68  $\pm$  0,03 g/cm<sup>3</sup>), et plus faible dans les champs de cultures vivrières (0,49  $\pm$  0,05 g/cm<sup>3</sup>). La biomasse aérienne varie de 399,4  $\pm$  50,8 Mg/ha et 382,6  $\pm$  82,5 Mg/ha dans la forêt mixte à *G. dewevrei* et la forêt mixte, respectivement, à 2,4  $\pm$  2,9 Mg/ha dans les champs de cultures vivrières.



**Photo 5.**  
 Plantation de caféiers sous ombrage.  
 Photo L. Mangaza.

## Diversité et composition

La richesse spécifique varie significativement en fonction du type d'utilisation des terres (tableau I). Les types d'utilisation des terres forestières possèdent une richesse arborée plus élevée par rapport aux types d'utilisation des terres agricoles. La plus grande richesse est observée dans la forêt mature mixte ( $39 \pm 3,6$  espèces par parcelle de 0,25 ha), suivie de la forêt secondaire ( $29,8 \pm 7,8$  espèces par parcelle de 0,25 ha). La plus faible richesse est relevée dans les plantations de palmiers à huile qui ne comprennent aucune

espèce d'arbre. Ces plantations sont composées uniquement du palmier à huile et ont donc été retirées du jeu de données pour les analyses de diversité. Dans l'ensemble du jeu de données, 43 espèces singletons et 33 doubletons ont été enregistrées. Le plus grand nombre d'espèces singletons et doubletons est observé dans la forêt mature mixte avec, respectivement,  $20 \pm 2$  singletons et  $8 \pm 2$  doubletons par parcelle de 0,25 ha, ce qui suggère qu'un certain nombre d'espèces rares ou peu abondantes ont pu être ratées par l'échantillonnage dans la forêt mature mixte.

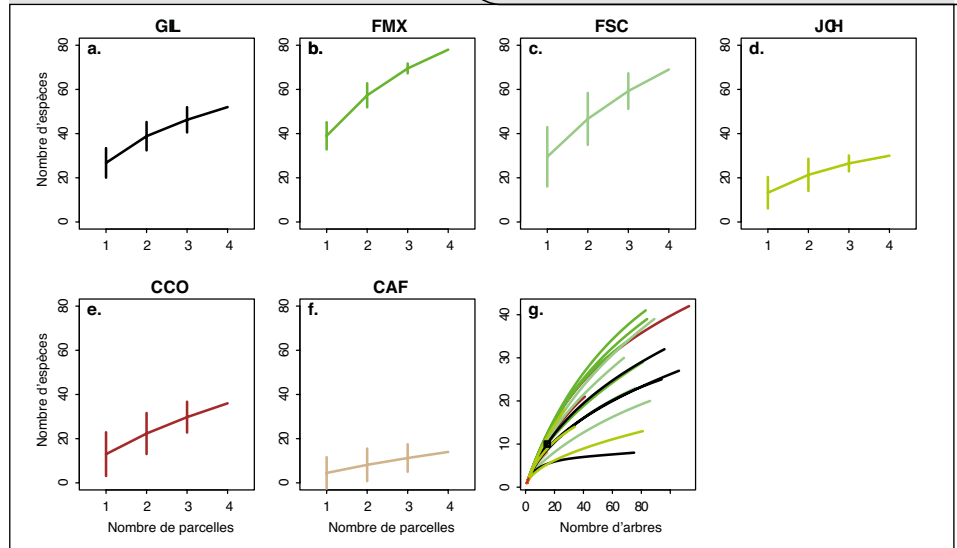
**Tableau I.**

Attributs structuraux et indices de diversité par types d'utilisation des terres. Les valeurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des attributs structuraux (densité de tiges, surface terrière, hauteur de Lorey, densité de bois moyenne pondérée par la surface terrière, et biomasse aérienne) et des indices de diversité (richesse par parcelle de 0,25 ha, alpha de Fisher, et nombre de singletons et de doubletons) sont données par type d'utilisation des terres. GIL : forêt mature à *Gilbertiodendron dewevrei* ; FMX : forêt mature mixte ; FSC : forêt secondaire ; JCH : jachère ; CCO : plantation de cacaoyers ; CAF : plantation de caféiers ; PLM : plantation de palmiers à huile ; MAN : champs de cultures vivrières (manioc). Les cinq espèces ligneuses les plus abondantes sont également indiquées. Les types d'utilisation des terres ne partageant pas une même lettre sur une même ligne diffèrent significativement ( $P < 0,05$ ).

	GIL	FMX	FSC	JCH	CCO	CAF	PLM	MAN
<b>Attributs structuraux</b>								
Densité (arbres/ha)	372 $\pm$ 50 <sup>a</sup>	351 $\pm$ 71 <sup>a</sup>	324 $\pm$ 37 <sup>a, b</sup>	217 $\pm$ 111 <sup>b, c</sup>	88 $\pm$ 52 <sup>c, d</sup>	26 $\pm$ 25 <sup>d</sup>	-	4 $\pm$ 5 <sup>d</sup>
Densité (arbres + cultures/ha)	372 $\pm$ 50 <sup>b</sup>	351 $\pm$ 71 <sup>b</sup>	325 $\pm$ 37 <sup>b, c</sup>	230 $\pm$ 116 <sup>b, c</sup>	916 $\pm$ 120 <sup>a</sup>	1106 $\pm$ 358 <sup>a</sup>	126 $\pm$ 15 <sup>b, c</sup>	6 $\pm$ 8 <sup>c</sup>
Hauteur de Lorey (m)	32,6 $\pm$ 2,0 <sup>a</sup>	28,4 $\pm$ 1,9 <sup>a</sup>	21,5 $\pm$ 0,8 <sup>a, b</sup>	13,4 $\pm$ 2,9 <sup>b, c</sup>	23,0 $\pm$ 7,4 <sup>a, b</sup>	-	-	6,8 $\pm$ 8,8 <sup>c</sup>
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	26,6 $\pm$ 1,6 <sup>a</sup>	31,6 $\pm$ 5,7 <sup>a</sup>	23,6 $\pm$ 5,4 <sup>a</sup>	7,9 $\pm$ 3,7 <sup>b, c</sup>	23,7 $\pm$ 10,3 <sup>a</sup>	17,8 $\pm$ 10,2 <sup>a, b</sup>	23,6 $\pm$ 5,1 <sup>a</sup>	0,6 $\pm$ 0,7 <sup>c</sup>
Densité de bois moyenne (g/cm <sup>3</sup> )	0,68 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	0,64 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,51 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	0,50 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	0,59 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,63 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	0,53 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	0,49 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>
Biomasse aérienne (Mg/ha)	399,4 $\pm$ 50,8 <sup>a</sup>	382,6 $\pm$ 82,5 <sup>a</sup>	151,6 $\pm$ 35,6 <sup>b, c</sup>	29,5 $\pm$ 3,2 <sup>c</sup>	197,1 $\pm$ 119,2 <sup>b</sup>	127,4 $\pm$ 115,8 <sup>b, c</sup>	42,9 $\pm$ 11,9 <sup>b, c</sup>	2,4 $\pm$ 2,9 <sup>c</sup>
Modèle H-D : H = a * D / (b + D)	a = 76,6 ; b = 62,8	a = 54,7 ; b = 43,8	a = 39,2 ; b = 31,3	a = 31 ; b = 28,9	-	-	-	-
<b>Diversité et dominance</b>								
Richesse (espèces par parcelle)	26,8 $\pm$ 3,9 <sup>b</sup>	39 $\pm$ 3,6 <sup>a</sup>	29,8 $\pm$ 7,8 <sup>a, b</sup>	14 $\pm$ 4,2 <sup>c</sup>	14,5 $\pm$ 5,4 <sup>c</sup>	5,5 $\pm$ 4,1 <sup>c, d</sup>	1 $\pm$ 0 <sup>d</sup>	1,3 $\pm$ 1,5 <sup>d</sup>
Alpha de Fisher	16,4	31,1	27,4	9,7	8,3	2,5	-	14,1
Nombre de singletons	14 $\pm$ 3 <sup>a, b</sup>	20 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	18 $\pm$ 5 <sup>a</sup>	7 $\pm$ 4 <sup>b, c, d</sup>	9 $\pm$ 3 <sup>b, c</sup>	4 $\pm$ 3 <sup>c, d</sup>	-	1 $\pm$ 1 <sup>d</sup>
Nombre de doubletons	4 $\pm$ 1 <sup>b</sup>	8 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	4 $\pm$ 1 <sup>b</sup>	2 $\pm$ 2 <sup>b, c</sup>	3 $\pm$ 3 <sup>b, c</sup>	0 $\pm$ 1 <sup>c</sup>	-	0 $\pm$ 0 <sup>c</sup>
<b>Espèces les plus abondantes (arbres/ha)</b>	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i> (86)	<i>Scorodophloeus zenkeri</i> (32)	<i>Musanga cecropioides</i> (82)	<i>Musanga cecropioides</i> (81)	<i>Theobroma cacao</i> (826)	<i>Coffea canephora</i> (1080)	<i>Elaeis guineensis</i> (126)	<i>Elaeis guineensis</i> (2)
	<i>Baikiaea insignis</i> (40)	<i>Panda oleosac</i> (19)	<i>Macaranga monandra</i> (39)	<i>Bellucia axinthera</i> (32)	<i>Trilepisium madagascariense</i> (12)	<i>Petersianthus macrocarpus</i> (8)	-	<i>Pycnanthus angolensis</i> (1)
	<i>Cleistanthus mildbraedii</i> (33)	<i>Staudtia kamerunensis</i> (16)	<i>Macaranga spinosa</i> (19)	<i>Albizia adianthifolia</i> (21)	<i>Petersianthus macrocarpus</i> (11)	<i>Ricinodendron heudelotii</i> (4)	-	<i>Albizia adianthifolia</i> (1)
	<i>Cavacoa quintasii</i> (26)	<i>Anonidium mannii</i> (15)	<i>Petersianthus macrocarpus</i> (19)	<i>Elaeis guineensis</i> (13)	<i>Spathodea campanulata</i> (5)	<i>Celtis mildbraedii</i> (2)	-	<i>Albizia ferruginea</i> (1)
	<i>Scorodophloeus zenkeri</i> (23)	<i>Tridesmostemon omphalocarpoides</i> (13)	<i>Trilepisium madagascariense</i> (14)	<i>Vernonia conferta</i> (12)	<i>Cola lateritia</i> (4)	<i>Sterculia bequaerti</i> (2)	-	<i>Persea americana</i> (1)

Les courbes d'accumulation des espèces confirment ces différences. On peut également noter que ces courbes n'atteignent pas un plateau (ne sont pas asymptotiques) dans les types d'utilisation des terres forestières, ce qui indique que l'échantillonnage limité n'a pas permis de bien appréhender la richesse spécifique, et que d'autres parcelles ou des parcelles de plus grande taille sont nécessaires pour bien estimer la richesse spécifique. Les différences de richesse entre types forestiers sont néanmoins visibles par les deux approches (figure 1).

En ce qui concerne la composition floristique, l'analyse a été restreinte aux types d'utilisation des terres forestières. L'axe 1 de la NSCA (35,2 % de variance expliquée) montre que les parcelles de forêt mature à *G. dewevrei* présentent une composition différente des autres types d'utilisation des terres forestières (figure 2) et sont caractérisées par la présence de *G. dewevrei*, *Baikia insignis* et *Cleistanthus mildbraedii*. L'axe 2 (17,9 % de variance expliquée) met en évidence une variation graduelle de la composition floristique au cours de la succession écologique, allant des jachères à la forêt mature mixte, avec néanmoins un décrochage entre la forêt secondaire et la forêt mature mixte, qui ne partage aucune des cinq espèces les plus abondantes (tableau I). Les espèces pionnières telles que *Musanga cecropioides* apparaissent fortement associées aux premiers stades de succession (figure 2 et tableau I). Les différents types d'utilisation des terres sont relativement bien séparés sur les axes d'ordination, ce qui traduit une certaine similarité de la composition entre les parcelles d'un même type d'utilisation des terres, même si la dispersion (dissimilarité) est plus importante au sein des jachères.

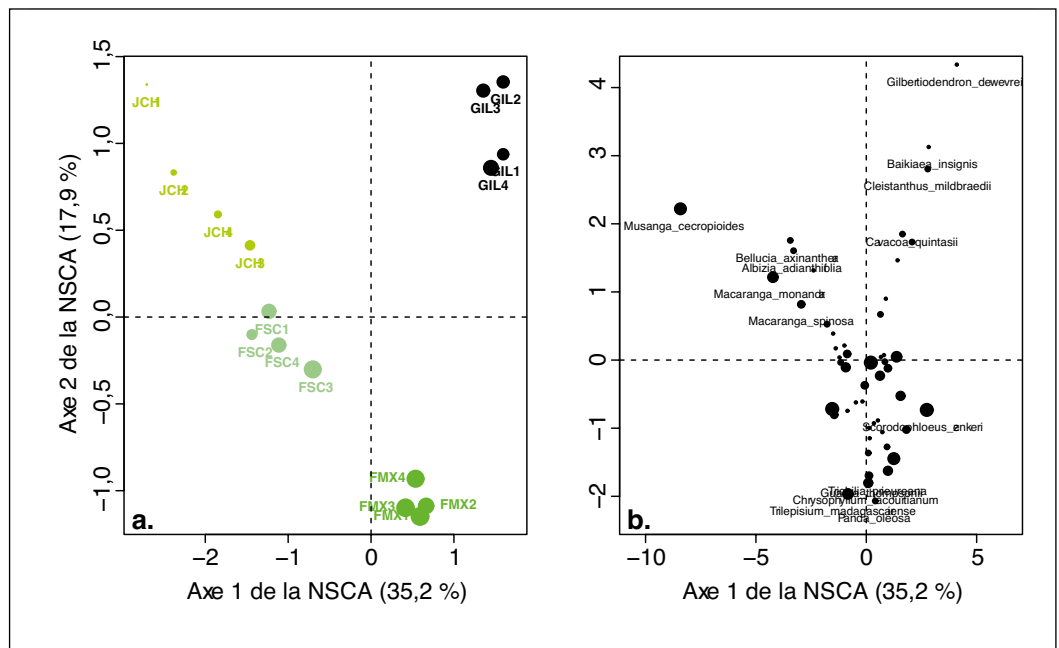


**Figure 1.**

Accumulation de la richesse spécifique en fonction du nombre de parcelles (a-f) et du nombre d'arbres (g) pour les différents types d'utilisation des terres. GIL : forêt mature à *Gilbertiodendron dewevrei*; FMX : forêt mature mixte; FSC : forêt secondaire; JCH : jachère; CCO : plantation de cacaoyers; CAF : plantation de caféiers.

### Pertes de biomasse et de diversité liées au changement d'utilisation des terres

Comme il existe une relation entre les attributs structuraux et la diversité sur le gradient de dégradation et de déforestation, la conversion des forêts matures induit à la fois une perte de biomasse et de diversité. En effet, en ne considérant que les arbres pour



**Figure 2.**

Variation de la composition en espèces d'arbres mise en évidence par l'analyse non symétrique des correspondances (NSCA) : similarité dans la composition floristique entre les parcelles (a) ; position des espèces (b). Les abréviations et couleurs utilisées pour les différents types d'utilisation des terres correspondent à la figure 1. Cette analyse a été réalisée sur les utilisations des terres forestières et sur les parcelles avec au minimum 116 arbres par parcelle. GIL : forêt mature à *Gilbertiodendron dewevrei*; FMX : forêt mature mixte; FSC : forêt secondaire; JCH : jachère. La taille des points des parcelles est proportionnelle à la richesse spécifique, et la taille des points des espèces est proportionnelle au nombre de parcelles dans lesquelles elles ont été inventoriées.



**Photo 6.**  
Plantation de cacaoyers sous ombrage.  
Photo L. Mangaza.

les calculs, il existe une relation positive entre la biomasse aérienne et les attributs structuraux (figure 3), notamment la densité des tiges à l'hectare ( $P < 0,001$  ;  $R^2 = 0,48$ ), la surface terrière ( $P < 0,001$  ;  $R^2 = 0,63$ ) et la hauteur de Lorey ( $P < 0,001$  ;  $R^2 = 0,78$ ), cette dernière étant le meilleur prédicteur de la biomasse. Il existe également une relation positive et significative entre

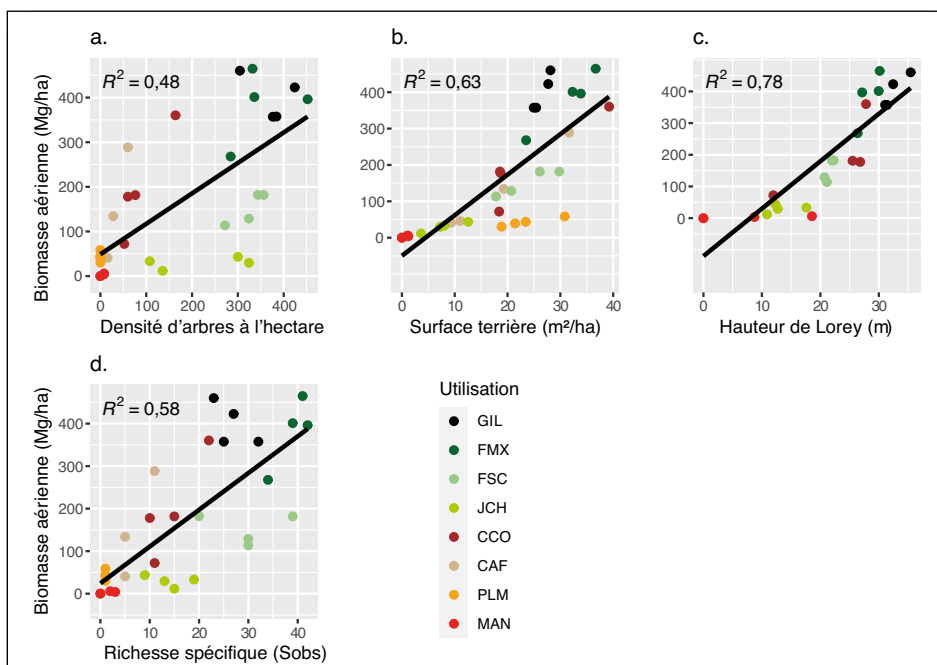
la biomasse et la richesse spécifique observée ( $P < 0,001$  ;  $R^2 = 0,58$ ).

la biomasse et la richesse spécifique observée ( $P < 0,001$  ;  $R^2 = 0,58$ ).

La conversion de la forêt mature en terres agricoles est associée à une importante perte de biomasse. En considérant la moyenne de l'ensemble des données de deux types de forêt mature comme état de référence de la forêt mature à Yangambi, la biomasse passe d'une moyenne de 391,0 Mg/ha en forêt mature à 2,4 Mg/ha dans les champs de cultures vivrières, soit une perte de 99,4 %. Dans les systèmes agroforestiers où les cultures ligneuses sont associées aux arbres, une part non négligeable de la biomasse est conservée, avec néanmoins une perte de 67,4 % et 49,5 % lors de la conversion en plantation de caféiers et de cacaoyers, respectivement. Lorsque le champ de cultures vivrières est abandonné en jachère, la biomasse aérienne se reconstitue, et dans les jachères de 5 à 10 ans la reconstitution est de 29,5 Mg/ha, soit 7,5 % de biomasse de la forêt mature. Dans la forêt secondaire de 20 à 40 ans, la succession continue, et 151,6 Mg/ha, soit 38,8 % de biomasse, sont reconstitués.

Comme pour la biomasse, la conversion de la forêt mature en terres agricoles s'accompagne d'une perte de richesse spécifique. La culture du palmier à huile élimine tout élément de la végétation naturelle ; la diversité floristique est donc nulle dans les plantations de palmiers à huile.

Les autres cultures pérennes permettent de conserver 44,1 % de la richesse spécifique ou 14,5 espèces par parcelle de 0,25 ha pour le cacaoyer et 16,7 % ou 5,5 espèces par parcelle de 0,25 ha pour le caféier. La richesse spécifique de la forêt mature (32,9 espèces par parcelle), qui a été réduite à 96,0 % de son niveau originel dans les champs de cultures vivrières (1,3 espèce par parcelle de 0,25 ha), se reconstitue assez rapidement après l'abandon des cultures par le processus de recolonisation forestière. Les forêts secondaires (20 à 40 ans) considérées dans ce travail avaient une richesse spécifique moyenne de 29,8 espèces par parcelle de 0,25 ha, soit 90,6 % de la diversité en forêt mature, mais la composition reste bien différente.



**Figure 3.**  
Relation entre la biomasse aérienne et la densité d'arbres à l'hectare (a), la surface terrière (b), la hauteur de Lorey (c) et la richesse spécifique (d). GIL : forêt mature à *Gilbertiodendron dewevrei* ; FMX : forêt mature mixte ; FSC : forêt secondaire ; JCH : jachère ; CCO : plantation de cacaoyers ; CAF : plantation de caféiers ; PLM : plantation de palmiers à huile ; MAN : champs de cultures vivrières (manioc).

## Discussion

### Structure, diversité et composition arborée

La biomasse aérienne varie en fonction du type d'utilisation des terres, la plus grande valeur étant observée dans la forêt mature qui contient à la fois une forte densité d'arbres à l'hectare et des arbres de grande dimension. Nos estimations de biomasse aérienne pour la forêt mixte (382,6 Mg/ha) sont supérieures à celles de Kearsley *et al.* (2013 ; 321 Mg/ha) à Yangambi, et s'expliquent vraisemblablement par l'allométrie hauteur-diamètre (annexe 1). Le modèle proposé par Kearsley *et al.* (2013) à Yangambi sous-estime la hauteur des arbres. Notre étude propose un modèle hauteur-diamètre basé sur le modèle de Michaelis-Menten ajusté pour chaque type d'utilisation des terres. Ce modèle a été précédemment proposé en Guyane française (Molto *et al.*, 2013), spécifiquement dans les forêts d'Afrique centrale (Fayolle *et al.*, 2016). Les estimations de biomasse aérienne dans les jachères de Yangambi sont inférieures à celles de Moonen *et al.* (2019) dans la province de la Tshopo, à 66 km de notre site ; la différence serait liée au nombre de rotations élevé dans la réserve de biosphère de Yangambi (Mangaza *et al.*, 2021). Pour les plantations de cacaoyers, la biomasse aérienne à Yangambi est supérieure à celle trouvée par Batsi *et al.* (2021) dans le paysage de Bengamisa-Yangambi en RDC. Cette différence tiendrait à une grande densité (et diversité) d'arbres d'ombrage (Blaser *et al.*, 2018) laissés en place lors de l'installation des plantations à Yangambi.

La richesse spécifique par parcelles de 0,25 ha dans la forêt mature de la réserve de biosphère de Yangambi (32,9 espèces) se rapproche de celle rapportée par Lisingo *et al.* (2015) dans la réserve de faune à okapis (RFO) (27,5 espèces) et à Uma (37,9 espèces), mais est inférieure à celle de Yoko (43,2 espèces). La richesse spécifique est importante dans les forêts secondaires et se rapproche de celle des forêts matures (Chazdon *et al.*, 2009). La richesse spécifique dans les plantations de cacaoyers à Yangambi est supérieure à celle rapportée par Batsi *et al.* (2020) dans le paysage Bengamisa-Yangambi. Cette différence serait liée au mode d'installation des plantations, celles de Yangambi étant installées sur les terres forestières dégradées avec plusieurs espèces d'arbres forestiers laissées en place, alors que les cacaoyères du paysage Bengamisa-Yangambi ont été plantées sous des palmeraies (Batsi *et al.*, 2020).

### Trajectoire de conversion (dégradation et déforestation) et reconstitution

Alors que les études dans les forêts intactes ne mettent pas en évidence de relation entre biomasse aérienne et richesse spécifique (Sullivan *et al.*, 2017), une relation positive a pu être établie le long du gradient de dégradation et de déforestation, depuis la forêt mature, et de reconstitution représenté par les différents types d'utilisation des terres à Yangambi. La conversion de la forêt mature en un autre type d'utilisation des terres entraîne une forte perte de biomasse (Vancutsem *et al.*, 2021) et de diversité (Gibson *et al.*, 2011), de 99,4 % et 97 % respectivement, dans la réserve de biosphère de Yangambi. La perte la plus élevée est observée lors de la conversion de la forêt mature mixte en champ de cultures vivrières, mais la biomasse aérienne et la diversité se reconstituent progressivement dans les jachères, après l'abandon des champs.

En ce qui concerne la diversité, il n'existe pas de substituts aux forêts matures lorsqu'il s'agit de maintenir la biodiversité tropicale (Gibson *et al.*, 2011). Nos résultats montrent que, si la richesse spécifique est importante dans les forêts secondaires de 20 à 40 ans (Makana et Thomas, 2006) et proche de celle de la forêt mature (Chazdon *et al.*, 2009), la composition est complètement différente/dissimilaire de celle des forêts matures.

Dans le contexte de la disparition généralisée des forêts matures dans les régions tropicales, les jachères et les forêts secondaires sont néanmoins importantes pour la persistance des espèces forestières, et peuvent à ce titre jouer un rôle important pour la conservation de la biodiversité (Chazdon *et al.*, 2009) et faire l'objet d'attention dans les initiatives visant à protéger les écosystèmes



**Photo 7.**  
Plantation de palmiers à huile.  
Photo L. Mangaza.



**Photo 8.**  
Champ de cultures vivrières (manioc).  
Photo L. Mangaza.

forestiers tropicaux. Elles jouent aussi un rôle important dans la préservation de la biomasse forestière, qui augmente avec l'âge de la jachère ou de la forêt secondaire (Mosnier *et al.*, 2016).

Dans les zones déforestées et/ou dégradées, la pratique de l'agroforesterie, qui a montré son efficacité en termes de conservation de la biomasse aérienne et de la diversité (Blaser *et al.*, 2018) par rapport aux champs de cultures vivrières, devrait être promue pour lutter contre la déforestation et la dégradation forestière. L'agroforesterie à base de cacaoyers est une stratégie fréquemment proposée dans des projets REDD+ (Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts) de la RDC, pour éviter la déforestation, tout en améliorant les conditions de vie des ménages paysans. Dans cette étude, nous avons pu démontrer que les cacaoyères présentent des niveaux de biomasse et de diversité élevés par rapport aux autres systèmes agroforestiers, mais un choix judicieux des zones d'installation des plantations est nécessaire, pour éviter que ces dernières remplacent les forêts matures et deviennent une source de déforestation, comme déjà signalé dans d'autres zones de la RDC (De Beule *et al.*, 2014 ; Batsi *et al.*, 2020).

De plus, le cacao est l'une des principales cultures commerciales mondiales (Hosseini-Bai *et al.*, 2019), et la demande mondiale en cacao est croissante (Blaser *et al.*, 2018).

Néanmoins, il semble également important de discuter du rôle d'autres utilisations des terres que les cacaoyères dans les efforts pour stocker le carbone, préserver la biodiversité des écosystèmes forestiers, et assurer la sécurité alimentaire des populations. Sur le plan de la sécurité alimentaire, les forêts secondaires continuent

de fournir aux ménages les produits forestiers non ligneux dont ils ont besoin (Moonen *et al.*, 2019) et qui provenaient des forêts primaires. Les forêts secondaires fournissent aussi les terres qui peuvent être converties en cultures, tout comme les jachères, qui sont cependant moins riches en biomasse et en diversité. Ces dernières peuvent être améliorées via la régénération naturelle assistée, notamment en introduisant des légumineuses pour améliorer la fertilité des sols (Capellesso *et al.*, 2019). Pour protéger les écosystèmes forestiers tropicaux, il est donc également important de s'intéresser aux cultures vivrières dont les cycles agronomiques incluent les jachères.

## Conclusion

En République démocratique du Congo, dans la réserve de biosphère de Yangambi, la biomasse aérienne et la diversité varient significativement en fonction du type d'utilisation des terres, couvrant un gradient de déforestation et dégradation, et de reconstitution forestière (succession écologique). Dans les zones déforestées/dégradées, la culture du cacaoyer est une piste intéressante car elle constitue une culture pérenne qui conserve environ 50 % de biomasse aérienne et de diversité forestière. Cependant, l'installation des nouvelles plantations de cacaoyers ne doit pas présenter une nouvelle menace pour la forêt mature.

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'ERAIFT pour le financement de cette étude, au travers du projet Yangambi Pôle scientifique (YPS). Nous remercions également le bureau d'études Ressources et synergies de développement (RSD) pour son soutien logistique, de même que le projet GCS-REDD du CIFOR, financé par le NORAD. Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont accompagnés sur le terrain (guides et botanistes identificateurs).

### Sources de financement

Ce travail a été financé par l'École régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux (ERAIFT), à travers le projet Yangambi Pôle scientifique (YPS), sur financement du Royaume de Belgique en coopération déléguée à l'Union européenne.

### Accessibilité des données

Les données de cette étude sont accessibles sur demande adressée aux auteurs de ce manuscrit en la formulant auprès de l'auteur correspondant.

## Annexe 1

### Construction du modèle hauteur-diamètre.

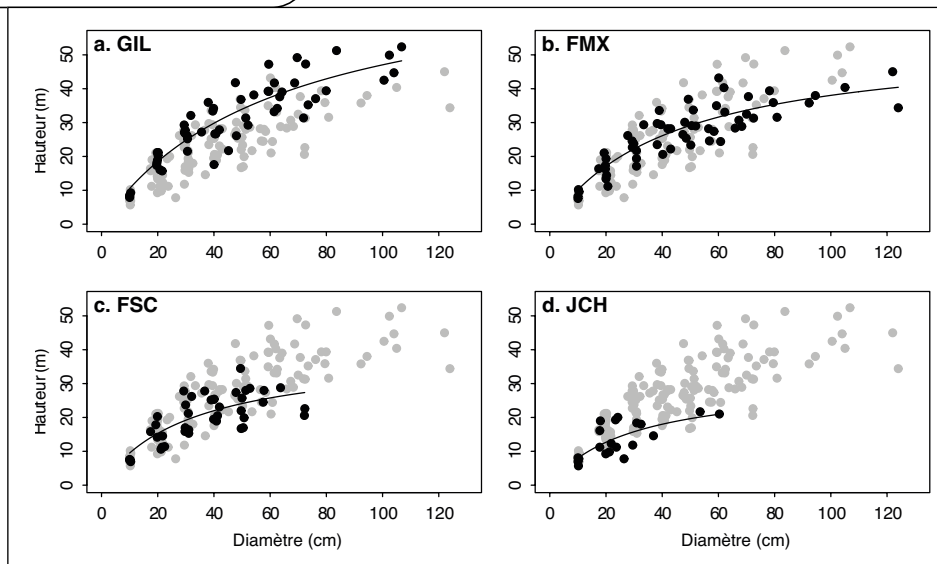
Trois modèles hauteur-diamètre ont été testés pour arriver à la construction du modèle local (tableau S1 et figure S1). Le modèle de Michaelis-Menten a été sélectionné

sur la base de deux critères de performance : l'indice d'Aikaike (AIC) et l'écart-type résiduel (RSE).

**Tableau S1.**

Ajustement des modèles allométriques hauteur-diamètre sans et avec effet du type d'utilisation des terres. Les abréviations sont les suivantes : GIL pour la forêt mature à *Gilbertiodendron dewevrei* ; FMX pour la forêt mature mixte ; FSC pour la forêt secondaire ; JCH pour la jachère. Le meilleur modèle est indiqué en gras.

Type de modèle	Type d'utilisation des terres	a	b	c	AIC	RSE
<b>I. Modèle général sans effet du type d'utilisation des terres</b>						
<b>1. Modèle monotonique</b>						
(m1) Modèle de puissance, $H = a * D^b$	Tous (n = 175)	2,67	0,605	-	1 117,1	5,82
<b>2. Modèles asymptotiques</b>						
(m2) Modèle exponentiel à 3 paramètres, $H = a - b * \exp(-c * D)$	Tous (n = 175)	49,1	48,1	0,0179	1 113,3	5,742
(m3) Modèle de Michaelis-Menten, $H = a * D / (b + D)$	<b>Tous (n = 175)</b>	<b>70</b>	<b>69,3</b>	-	<b>1 110,8</b>	<b>5,717</b>
<b>II. Modèle spécifique à chaque type d'utilisation des terres</b>						
<b>1. Modèle monotonique</b>						
(m1) Modèle de puissance, $H = a * D^b$	GIL (n = 58)	3,43	0,578	-	339	5,089
	FMX (n = 42)	4,16	0,489	-	342,6	4,484
	FSC (n = 55)	3,48	0,493	-	252,4	4,66
	JCH (n = 20)	2,64	0,518	-	113,9	3,79
<b>2. Modèles asymptotiques</b>						
(m2) Modèle exponentiel à 3 paramètres, $H = a - b * \exp(-c * D)$	GIL (n = 58)	53	53	0,0208	337,2	4,96
	FMX (n = 42)	40,3	40	0,0263	337,4	4,251
	FSC (n = 55)	26,2	34,1	0,0568	247,1	4,324
	JCH (n = 20)	22,9	22,1	0,0383	115,7	3,875
(m3) Modèle de Michaelis-Menten, $H = a * D / (b + D)$	<b>GIL (n = 58)</b>	<b>76,6</b>	<b>62,8</b>	-	<b>334,8</b>	<b>4,898</b>
	<b>FMX (n = 42)</b>	<b>54,7</b>	<b>43,8</b>	-	<b>335,3</b>	<b>4,21</b>
	<b>FSC (n = 55)</b>	<b>39,2</b>	<b>31,3</b>	-	<b>248,2</b>	<b>4,432</b>
	<b>JCH (n = 20)</b>	<b>31</b>	<b>28,9</b>	-	<b>113,5</b>	<b>3,751</b>



**Figure S1.**

Relations allométriques hauteur-diamètre spécifiques aux différents types d'utilisation des terres. GIL = forêt mature à *Gilbertiodendron dewevrei* (a) ; FMX = forêt mature mixte (b) ; FSC = forêt secondaire (c) ; JCH = jachère (d). Les courbes correspondent aux relations ajustées du modèle de Michaelis-Menten ( $m^2$ ) pour chaque type d'utilisation des terres (en noir) ; les arbres inventoriés dans les autres utilisations des terres sont également indiqués (en gris).

## Références

- Andrade H., Segura M., Somarriba E., Villalobos M., 2008. Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 46: 45-50. [CATIE]
- Batsi G., Sonwa D. J., Mangaza L., Ebuy J., Kahindo J. M., 2021. Preliminary estimation of above-ground carbon storage in cocoa agroforests of Bengamisa-Yangambi forest landscape (Democratic Republic of Congo). *Agroforestry Systems*, 95: 1505-1517. [Crossref]
- Batsi G., Sonwa D. J., Mangaza L., Ebuy J., Kahindo J. M., 2020. Biodiversity of the cocoa agroforests of the Bengamisa-Yangambi forest landscape in the Democratic Republic of the Congo (DRC). *Forests*, 11: 1-21. [Crossref]
- Blaser W. J., Oppong J., Hart S. P., Landolt J., Yeboah E., Six J., 2018. Climate-smart sustainable agriculture in low-to-intermediate shade agroforests. *Nature Sustainability*, 1: 234-239. [Crossref]
- Capellesso C., Cequinel A., Marques R., Marques M. C., 2019. Temporal and environmental correlates of carbon stocks in a regenerating tropical forest. *Applied Vegetation Science*, 23: 353-362. [Crossref]
- Chave J., Réjou-Méchain M., Búrquez A., Chidumayo E., Colgan M. S., Delitti W. B. C., et al., 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20: 3177-3190. [Crossref]
- Chazdon R. L., Peres C. A., Dent D., Sheil D., Lugo A. E., Lamb D., et al., 2009. The potential for species conservation in tropical secondary forests. *Conservation Biology*, 23: 1406-1417. [Crossref]
- De Beule H., Jassogne L., Van Asten P., 2014. Cocoa: Driver of deforestation in the Democratic Republic of the Congo? Copenhagen, Denmark, CGIAR, Working paper No. 65, 33 p. [CGIAR]
- Debroux L., Hart T., Kaimowitz D., Karsenty A., Topa G. (eds), 2007. Forests in post-conflict Democratic Republic of Congo. Analysis of a priority agenda. Bogor, Indonesia, CIFOR, 82 p. [CIFOR]
- Defourny P., Delhage C., Kibambe Lubamba J.-P., 2011. Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en République démocratique du Congo. Rapport final. FAO, Université de Louvain, 105 p. [FAO]
- De Wasseige C., Tadoum M., Eba'a Atyi R., Doumenge C. (éds), 2015. Les forêts du Bassin du Congo – Forêts et changements climatiques. Neufchâteau, Belgique, Weyrich, 128 p. [OFAC]
- Dray S., Dufour A., 2007. The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. *Journal of Statistical Software*, 22 (4): 1-20. [Crossref]
- Fayolle A., Loubota Panzou G. J., Drouet T., Swaine M. D., Bauwens S., Vleminckx J., et al., 2016. Taller trees, denser stands and greater biomass in semi-deciduous than in evergreen lowland central African forests. *Forest Ecology and Management*, 374: 42-50. [Crossref]
- Fayolle A., Ngomanda A., Mbasi M., Barbier N., Bocko Y., Boyemba F., et al., 2018. A regional allometry for the Congo basin forests based on the largest ever destructive sampling. *Forest Ecology and Management*, 430: 228-240. [Crossref]
- Fernandez C. A., 2021. Package sitreeE – Sitree Extensions. CRAN-R-Project, 15 p. [CRAN]
- Gibson L., Lee T. M., Koh L. P., Brook B. W., Gardner T. A., Barlow J., et al., 2011. Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature*, 478: 378-381. [Crossref]



- Hairiah K., Arifin J., Berlain Prayogo C., van Noordwijk M., 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Malang (East Java) and Sumber Jaya (Lampung) Indonesia. *International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring*, 28-36. [Crossref]
- Hosseini-Bai S., Trueman S., Nevenimo, T., Hannel G., Randall B., Wallace H. M., 2019. The effects of tree spacing regime and tree species composition on mineral nutrient composition of cocoa beans and canarium nuts in 8-year-old cocoa plantations. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 22021-22029. [Crossref]
- Hubau W., Lewis S. L., Phillips O. L., Affum-Baffoe K., Bectman H., Cuní-Sánchez A., *et al.*, 2020. Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. *Nature*, 579: 80-87. [Crossref]
- Ickowitz A., Slayback D., Asanzi P., Nasi R., 2015. Agriculture and deforestation in the Democratic Republic of the Congo: A synthesis of the current state of knowledge. Bogor, Indonesia, CIFOR, No. 119, 28 p. [CIFOR]
- Kearsley E., De Haulleville T., Hufkens K., Kidimbu A., Toirambe B., Baert G., *et al.*, 2013. Conventional tree height-diameter relationships significantly overestimate aboveground carbon stocks in the Central Congo Basin. *Nature Communications*, 4: 2269. [Crossref]
- Lewis S. L., Sonké B., Sunderland T., Begne S. K., Lopez-Gonzalez G., van der Heijden, *et al.*, 2013. Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 368. [Crossref]
- Lewis S. L., Wheeler C. E., Mitchard E. T. A., Koch A., 2019. Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. *Nature*, 568: 25-28. [Crossref]
- Likoko B., Mbifo N., Besango L., Totiwe T., Badjoko D., Likoko A., *et al.*, 2019. Climate Change for Yangambi Forest Region, DR Congo. *Journal of Aquatic Sciences and Oceanography*, 1: 1-10. [SCHOLARENA]
- Lisingo J., Dauby G., Hardy O., Boyemba F., Makana J.-R., Ndjéle L., 2015. Structures spatiales de la richesse spécifique dans quelques blocs forestiers du nord-est du bassin congolais : implication pour la diversité régionale et la conservation. *Geo-Eco-Trop*, 39 : 169-184. [GEO-ECO-TROP]
- Makana J. R., Ewango C. N., McMahon S. M., Thomas S. C., Hart T. B., Condit R., 2011. Demography and biomass change in monodominant and mixed old-growth forest of the Congo. *Journal of Tropical Ecology*, 27: 447-461. [Crossref]
- Makana J. R., Thomas S. C., 2006. Impacts of selective logging and agricultural clearing on forest structure, floristic composition and diversity, and timber tree regeneration in the Ituri Forest, Democratic Republic of Congo. *Biodiversity Conservation*, 15: 1375-1397. [Crossref]
- Mangaza L., Sonwa D. J., Batsi G., Ebuy J., Kahindo J. M., 2021. Building a framework towards climate-smart agriculture in the Yangambi landscape, Democratic Republic of Congo (DRC). *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 13: 320-338. [Crossref]
- Migolet P., Goita K., Ngomanda A., Biyogo A., 2020. Estimation of aboveground oil palm biomass in a mature plantation in the Congo Basin. *Forests*, 11: 1-23. [Crossref]
- Molto Q., Rossi V., Blanc L., 2013. Error propagation in biomass estimation in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*, 4: 175-183. [Crossref]
- Moonen P. C. J., Verbist B., Boyemba Bosela F., Norgrove L., Dondeyne S., Van Meerbeek K., *et al.*, 2019. Disentangling how management affects biomass stock and productivity of tropical secondary forests fallows. *Science of The Total Environment*, 659: 101-114. [Crossref]
- Mosnier A., Mant R., Pirker J., Bodin B., Bokelo D., Tonga P., *et al.*, 2016. Modélisation des changements d'utilisation des terres pour la République Démocratique du Congo 2000-2030. Un rapport du projet REDD-PAC. IIASA, 86 p. [IIASA]
- Pearson T. R. H., Brown S., Murray L., Sidman G., 2017. Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: An underestimated source. *Carbon Balance Management*, 12 (3): 1-11. [Crossref]
- Oksanen J., 2020. Vegan: ecological diversity. CRAN-R-Project, 12 p. [CRAN]
- Saatchi S. S., Harris N. L., Brown S., Lefsky M., Mitchard E. T. A., Salas W., *et al.*, 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *PNAS*, 108: 9899-9904. [Crossref]
- Slik J. W. F., Arroyo-Rodríguez V., Aiba S. I., Alvarez-Loayza P., Alves L. F., Ashton P., *et al.*, 2015. An estimate of the number of tropical tree species. *PNAS*, 112: 7472-7477. [Crossref]
- Sullivan M. J. P., Talbot J., Lewis S. L., Phillips O. L., Qie L., Begne S.K., *et al.*, 2017. Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. *Scientific Reports*, 7: 1-12. [Crossref]
- Vancutsem C., Achard F., Pekel J. F., Vieilledent G., Carboni S., Simonetti D., *et al.*, 2021. Long-term (1990-2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics. *Science Advances*, 7: 1-22. [Crossref]
- Wickham H., 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. New York, USA, Springer-Verlag. [GGPLOT]
- Zanne A., Lopez-Gonzalez G., Coomes D., Ilic J., Jansen S., Lewis S., *et al.*, 2009. Data from: towards a worldwide wood economics spectrum. Dryad, Dataset. [Crossref]

### Mangaza *et al.* – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	L. Mangaza, J.-R. Makana, D. Sonwa
Gestion des données	L. Mangaza, G. Batsi
Analyse formelle	L. Mangaza, A. Fayolle, J.-R. Makana, W. Hubau
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	L. Mangaza, A. Fayolle, J.-R. Makana, W. Hubau
Écriture – Révision et édition	A. Fayolle, L. Mangaza, J.-R. Makana, W. Hubau, D. Sonwa, G. Batsi

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad -  
© Bois et Forêts des Tropiques © Cirad



Cirad - Campus international de Baillarguet,  
34398 Montpellier Cedex 5, France  
Contact : [bft@cirad.fr](mailto:bft@cirad.fr) - ISSN : L-0006-579X



AUBERT S. (COORD.), BOTTA A. (COORD.), 2022. **LES COMMUNS – UN AUTRE RÉCIT POUR LA COOPÉRATION TERRITORIALE**. FRANCE, ÉDITIONS QUÆ, 272 P.

Les communs traitent des relations entre le bien-être social et l'état de l'environnement, de manière sensible et raisonnée. Les crises que nous traversons interrogent les modèles de société qui fondent nos priorités et nos actions. Comment retrouver une capacité à agir pour un idéal de justice sociale et écologique ? Comment remobiliser nos sens et habiter en conscience et en responsabilité nos territoires ? Différentes voies sont explorées par la communauté internationale, les États ou encore la société civile, pour rendre plus explicites les relations entre le bien-être social et l'état de l'environnement. Mais aucune ne semble parvenir à s'ancrer réellement dans les processus de décision. Cet ouvrage est le fruit de 20 ans de recherches engagées et de réflexions transdisciplinaires d'un collectif de chercheurs investis dans la coopération internationale avec les pays des Suds (juriste, économiste, modélisateur, sociologue, géographe, écologue, agronome, informaticien). En appréhendant simultanément les besoins des humains et des non-humains, l'approche par les communs de la Terre et des ressources qu'elle porte, présentée dans cet ouvrage, nous invite à identifier et investir les marges de manœuvre permettant à la diversité des usagers de faire valoir leurs prérogatives et d'assumer leurs devoirs. L'innovation sociale proposée constitue le creuset de l'inclusion de non-humains dans des collectifs qui sont institués, à défaut, parfois, d'être institutionnalisés. Les « acteurs du vivre ensemble » se dotent ainsi d'une capacité d'analyse et d'engagement qu'ils s'imposent de rendre explicite ; ils mobilisent des outils et des méthodes facilitant l'action collective ; et ils cherchent à s'accorder pour faire face aux incertitudes. Le renforcement du lien social et de la conscience écologique qui en découle est le moteur de nouveaux projets de territoires à co-construire, fondés sur un « faire commun » et une gouvernance repensée.

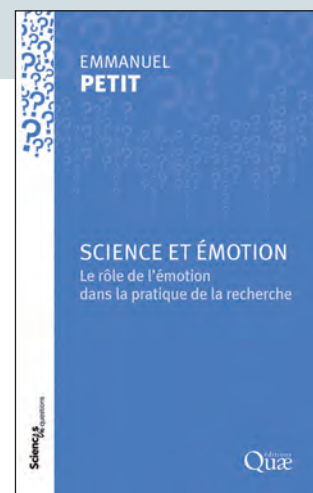
*Résumé adapté de celui de l'éditeur.*  
Éditions Quæ, c/o INRAE, RD 10,  
78026 Versailles Cedex, France.  
[www.quae.com](http://www.quae.com)



COURBET F., DOUSSAN C., LIMOUSIN J.-M., MARTIN-ST PAUL N., SIMIONI G., 2022. **FORÊTS ET CHANGEMENT CLIMATIQUE – COMPRENDRE ET MODÉLISER LE FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DES ARBRES**. FRANCE, ÉDITIONS QUÆ, 144 P.

Cette synthèse offre toutes les connaissances pour comprendre, observer et anticiper les effets du changement climatique sur les forêts. Parmi les changements climatiques observés, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses est au cœur des préoccupations des forestiers. La rapidité et l'importance de ces changements, la longue durée de vie des arbres, l'impossibilité d'irriguer sont autant de contraintes qui rendent difficile à relever le défi de l'adaptation des forêts. Même si les causes sont multiples, le manque d'eau joue souvent un rôle central dans la détérioration de l'état de santé des arbres. Quel est le fonctionnement hydrique d'un arbre ? Comment réagit-il en cas de sécheresse ? Quels moyens a-t-on d'évaluer sa sensibilité à la sécheresse ? Qu'est-ce qu'un modèle de fonctionnement et à quoi peut-il bien servir ? Cet ouvrage répond à ces questions. Pour faciliter le dialogue entre chercheurs en écophysiologie et utilisateurs des résultats de la recherche, il présente aussi les indicateurs des effets de la sécheresse sur les arbres et les modèles de fonctionnement, avec une fiche descriptive de chaque modèle développé et utilisé par les chercheurs en France. Pédagogique avant tout et abondamment illustrée, cette synthèse permet de comprendre, observer et anticiper les effets du changement climatique sur les forêts. C'est l'outil indispensable des étudiants, enseignants, forestiers, chercheurs, acteurs du développement et des politiques publiques...

*Résumé adapté de celui de l'éditeur.*  
Éditions Quæ, c/o INRAE, RD 10,  
78026 Versailles Cedex, France.  
[www.quae.com](http://www.quae.com)



PETIT E., 2022. **SCIENCE ET ÉMOTION – LE RÔLE DE L'ÉMOTION DANS LA PRATIQUE DE LA RECHERCHE**. FRANCE, ÉDITIONS QUÆ, 80 P.

La pratique de la recherche est-elle compatible avec les émotions ressenties ou exprimées par le chercheur ? L'histoire de la science est émaillée de vies de scientifiques illustres, comme Charles Darwin, Marie Curie ou Albert Einstein, qui ont relaté leur passion pour la recherche et évoqué les émotions qui y ont contribué. De manière générale, tous les chercheurs connaissent le plaisir intellectuel associé à leur activité professionnelle. La plupart s'engage avec ferveur dans leurs travaux et prennent à cœur de convaincre la communauté et/ou le grand public de leur pertinence et de leur importance. Peu de chercheurs reconnaissent cependant que leurs émotions peuvent avoir une incidence sur la façon dont ils abordent leur objet de recherche, ni sur la manière dont ils la pratiquent. Les émotions modifient-elles le choix de l'objet d'étude ou celui des outils ? Influencent-elles la lecture et l'interprétation des résultats ou des faits scientifiques ? Le chercheur doit-il ou peut-il contrôler ses émotions ou tenter de les mettre à distance ? Faut-il au contraire leur accorder une place dans le processus même de la recherche ? Une émotion est-elle une source appropriée de la connaissance scientifique ? Comment évaluer les émotions ? C'est à toutes ces questions que cet ouvrage propose de répondre.

*Résumé adapté de celui de l'éditeur.*  
Éditions Quæ, c/o INRAE, RD 10,  
78026 Versailles Cedex, France.  
[www.quae.com](http://www.quae.com)

# Effect of nitrogen concentration and cotyledons on nitrogen preference in seedlings of *Cedrus atlantica* Manetti



**Belkacem EL AMRANI<sup>1</sup>**  
**Mohammed BENDRISS AMRAOUI<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Sidi Mohamed Ben Abdellah University  
Faculty of Science Dhar El Mehraz  
Department of Biology  
Fes  
Morocco

**Auteur correspondant /**  
**Corresponding author:**

Belkacem EL AMRANI  
[elamranibelkacem@gmail.com](mailto:elamranibelkacem@gmail.com)

**Photo 1.**  
*Cedrus atlantica* Manetti, representative aged specimens from the Gouraud and Moudmame forests, Morocco.  
Photo B. El Amrani.

**Doi :** 10.19182/bft2022.353.a36834 – Droit d’auteur © 2022, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 16 décembre 2021 ; date d’acceptation : 9 juin 2022 ; date de publication : 1<sup>er</sup> septembre 2022.



Licence Creative Commons :  
Attribution - 4.0 International.  
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

**Citer l’article / To cite the article**

El Amrani B., Bendriss Amraoui M., 2022. Effect of nitrogen concentration and cotyledons on nitrogen preference in seedlings of *Cedrus atlantica* Manetti. Bois et Forêts des Tropiques, 353: 75-85.  
Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2022.353.a36834>

## RÉSUMÉ

### Effets de la concentration en azote et des cotylédons sur les préférences pour l'azote des plantules de *Cedrus atlantica* Manetti

La matière organique est la source la plus importante de nitrate et d'ammonium, les deux principales formes d'azote utilisées par les plantes, dans le sol des forêts de conifères. La préférence et/ou l'adaptation d'une forme d'azote des génotypes des plantules est un facteur déterminant dans le succès des programmes de reboisement, non seulement pour les espèces de cèdres mais aussi pour toute autre essence forestière. Dans une chambre de croissance contrôlée, des plantules de *Cedrus atlantica* M. de deux origines (Gouraud et Moudmame) ont été cultivées sur un sol naturel ou sur de la matière organique fertilisée avec différentes formes et concentrations d'azote. Nos résultats montrent un besoin élevé en azote et différentes préférences pour les formes d'azote, qui se manifestent principalement au niveau des racines secondaires. D'autre part, les variations au niveau des cotylédons affectent la croissance et la réponse des plantules à la forme d'azote et révèlent ainsi différentes formes d'adaptation à la nutrition azotée, qui sont liées aux cotylédons et à l'âge des plantules. La réponse de la croissance de *C. atlantica* à la forme et à la concentration d'azote est abordée à la lumière de l'effet de l'origine et des cotylédons. L'ensemble de ces résultats suggère que la connaissance des besoins en azote des différents génotypes de *C. atlantica* au stade juvénile devrait s'avérer utile pour la réussite des reboisements de cette essence.

**Mots-clés :** cotylédons, forme d'azote, racines secondaires, provenance des semis, *Cedrus atlantica*.

## ABSTRACT

### Effect of nitrogen concentration and cotyledons on nitrogen preference in seedlings of *Cedrus atlantica* Manetti

The organic matter constitutes the most important source of nitrate and ammonium in coniferous forest soil, which are the two major nitrogen forms used by plants. The preference and/or adaptation of one N-form over another by seedlings genotypes is a determinant factor in the success of reforestation programs, not only for cedar species but any other forest essence. In a controlled growth chamber, the seedlings of two provenances of *Cedrus atlantica* M. (Gouraud and Moudmame) are grown on natural soil or on organic matter fertilized with different N-form and concentration. Our results show a high nitrogen requirement and a different preference towards nitrogen forms which is mainly manifested at secondary roots. On the other hand, variations in the cotyledons affect the growth and the response of the seedlings to the nitrogen form and thus reveal different forms of adaptation to nitrogen nutrition which are linked to the cotyledons and to the age of seedlings. The growth response of *C. atlantica* to nitrogen form and concentration is discussed in light of the effect of the provenance and cotyledons. Taken together, these results suggest that knowledge of the nitrogen requirements of the different genotypes of *C. atlantica* at the juvenile stage could be a good tool for successful reforestation of this forest species.

**Keywords:** cotyledons, N-form, secondary roots, seed provenance, *Cedrus atlantica*.

## RESUMEN

### Efectos de la concentración de nitrógeno y de los cotiledones en las preferencias de nitrógeno en plántulas de *Cedrus atlantica* Manetti

La materia orgánica es la fuente más importante de nitrato y amonio, las dos principales formas de nitrógeno utilizadas por las plantas, en el suelo de los bosques de coníferas. La preferencia y la adaptación a una forma de nitrógeno sobre otra en los genotipos de las plántulas es un factor determinante para el éxito de los programas de reforestación, no solo para los cedros sino para cualquier otra especie arbórea forestal. En una cámara de crecimiento controlada, se cultivaron plántulas de *Cedrus atlantica* M. de dos procedencias (Gouraud y Moudmame) en suelo natural o en materia orgánica fertilizada con diferentes formas y concentraciones de nitrógeno. Nuestros resultados muestran una elevada necesidad de nitrógeno y diferentes preferencias por las formas de nitrógeno, que se manifiestan principalmente en las raíces secundarias. Por otro lado, las variaciones en los cotiledones afectan al crecimiento y a la respuesta de las plántulas a la forma de nitrógeno y, por tanto, revelan diferentes formas de adaptación a la nutrición nitrogenada, que están relacionadas con los cotiledones y con la edad de las plántulas. La respuesta del crecimiento de *C. atlantica* ante la forma y concentración de nitrógeno se discute a la luz de los efectos de la procedencia y de los cotiledones. En conjunto, estos resultados sugieren que el conocimiento de las necesidades de nitrógeno de los diferentes genotipos de *C. atlantica* en la etapa juvenil podría ser una herramienta útil para el éxito de la reforestación de esta especie forestal.

**Palabras clave:** cotiledones, forma de nitrógeno, raíces secundarias, procedencia de las semillas, *Cedrus atlantica*.

## Introduction

Atlas cedar (*Cedrus atlantica* Manetti) occupies 2.8% of the total forested area of Morocco with a total forest area of 160 km<sup>2</sup> in Rif mountains and 1,160 km<sup>2</sup> in Middle and Eastern High Atlas, and contributes to meeting the needs of the local population (Terrab *et al.*, 2008). This species of international interest is endangered (Thomas, 2013) due to a multitude of problems, mainly climatic and edaphic constraints (Linares *et al.*, 2011; Moukrim *et al.*, 2020; El Amrani, 2022; Tafer *et al.*, 2022; El Mderssa *et al.*, 2022).

*Cedrus atlantica* has a long-life span of over 600 years. Its migration or genetic adaptation may not follow the dynamics of rapidly changing climatic conditions like other trees. Therefore, it needs to produce seeds adapted to the new environmental conditions that arise (Sniderhan *et al.*, 2018). Consequently, it must produce seeds adapted to the new environmental conditions. This assumption agrees with data of Terrab *et al.* (2006) who found that *C. atlantica* maintains a high genetic diversity in the Middle and High Atlas of Morocco. A similar observation has been shown for *Pinus pinea* L. in which the environmental conditions control the adaptive variability and induce variations in seed characteristics between and within populations (Court-Picon *et al.*, 2004; Terrab *et al.*, 2006).

The cotyledons are the most important seed characteristics because the conifer embryos have a variable number of cotyledons even within the same species (Holloway *et al.*, 2018). Mughal and Thapliyal (2012) consider that the number of cotyledons can constitute a basis for the selection and delimitation of the provenances of *Cedrus deodara*. On the other hand, for conifers, the cotyledons contain the food reserves with which the growth of the seedlings starts and it is themselves which begin photosynthesis (Johnson *et al.*, 2011; Marshall and Kozłowski, 1976). For this reason, during seed growth and development there is an integrated continuum from cotyledons to primary needles to secondary needles. Therefore, the development of primary needles requires metabolites from the cotyledons (Kozłowski and Pallardy, 1997). In this regard, the cotyledons which are physiologically efficient, play a major role in seedling growth, development and establishment (Mughal and Thapliyal, 2012). On the other hand, the physiological state of cotyledons is determined by the mother-plant conditions at the seed formation period, especially how much water and N-form in soil are still available and taken up (Masclaux-Daubresse *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2018).

The soil organic matter plays a paramount role in the soil properties by affecting soil aggregation and biochemical characteristics (Mangalassery *et al.*, 2019; El Amrani and Bendriss Amraoui, 2020); favouring nutrient retention and cycling (Molina-Herrera and Romanyà, 2015); affecting soil microbial activity and constitutes a nitrogen tank for the coniferous forest soil (Li *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018; El Amrani and Bendriss Amraoui, 2022). The nitrogen is one of the most important nutrients for plants it affects their functions from cell metabolism to growth (Boukcim *et al.*, 2006; Saiz-Fernández *et al.*, 2015). However, in most forest

soils, the availability of nitrogen is low and unable to meet the requirement of tree growth (Song *et al.*, 2018) due to unreasoned tree felling and low organic matter mineralization. In addition, despite the abundance of nitrogen in the organic state, just 1 to 3% can be in an inorganic form in the soil (Baldock and Nelson, 2000). Under the influence of soil types, vegetation and season this low rate can vary from 0.31 to 5.55 mmol of N/g in forest cedar soil (El Amrani and Bendriss Amraoui, 2018). To our knowledge, no study has been conducted on the preference in nitrogen forms and concentration between different seed provenances of *C. atlantica* in relation to cotyledons. Though, such a study can determine the ability of populations to adapt to environmental changes, the plant productivity, competition, coexistence and the ecological succession (Houlton *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2018).

The aim of the present paper is to investigate the differences, inter-population, in the preference of the nitrogen form in the progeny of two populations of *Cedrus atlantica* M.

## Material and methods

### Seeds sampling

Cedar seeds from two localities of the Moroccan cedar forest, Gouraud (Grd) and Moudmame (Mdm), were collected in May from 10 nearly isolated trees of each population. These trees are exposed from northeast to northwest through the south of a 270°, they are approximately the same age (respectively between 3.51 and 3.24 m in diameter, and 26.5 and 27 m height). The selected plants are classed as seed-carrier since they produce a large quantity of seeds with a germination rate greater than 80% (table I).

### Soil characterization

After the mineralization of 100 mg of soil, according to the Kjeldahl method (1883), the total nitrogen content [N] was estimated using the colorimetric method of Berthelot (1859) and the total phosphorus [P] content using the colorimetric method of Murphy and Riley (1962). The total organic carbon of the soil ( $C_{org}$ ) is determined according to the titrimetric method of Walkley and Black (1934). The granulometric characteristics of soils were determined according to Bouyoucos (1935), after drying and sieving 100 g of soil.

### Seedling growth conditions

The seeds were soaked for 48 hours, then transferred to damp paper until a radicle of about 1.5 cm appeared and then transplanted into culture-pots of 07 × 07 × 25 cm<sup>3</sup> of dimensions.

In the first experiment, a batch of seeds from Gouraud

**Table I.**  
Characteristics of the rhizosphere and geographic coordinates of the mother plant of the two provenances.

	Gouraud	Moudmame
<b>Latitude</b>	33° 25' 11.05" N	33° 22' 1.84" N
<b>Longitude</b>	5° 10' 11.10" O	5° 13' 23.15" O
<b>Altitude (m asl)</b>	1749	1835
<b>Texture (%)</b>	<b>Coarse sand</b>	17.195
	<b>Fine sand</b>	43.747
	<b>Coarse silt</b>	20.894
	<b>Silt fine-clay</b>	18.164
<b>Physico-chemistry</b>	<b>% C<sub>org</sub></b>	4.80 ± 0.72 <sup>a</sup>
	<b>[N] mmol/g</b>	3.301 ± 0.056 <sup>a</sup>
	<b>[P] mg/g</b>	50.094 ± 3.308 <sup>a</sup>
<b>Dominant litter</b>	Pure cedar	Cedar, holm oak and oxyhedron
<b>Soil</b>	Develop	Develop, rich in gravel
	Clayey, brown	Clay silt, dark black
	Few undecomposed OM	Rich in OM in the form of humus

% C<sub>org</sub>: organic carbon content; [N]: nitrogen content; [P]: phosphorus content; OM: organic matter.  
Mean ± SD, letters indicate significant differences (P < 0,05 test LSD).

and Moudemame was characterized by physiological and morpho-anatomical features by dissection under a binocular magnifying glass (table V). A second batch of 200 germinated seeds from the two provenances was transferred separately into the culture-pots, at the rate of 20 seeds per treatment, containing an organic substrate (red sawdust). The cultures were fertilized weekly with a nutrient solution based on nitrate [Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] or ammonium (NH<sub>4</sub>Cl), at

low (0.1 mM) or high (5.0 mM) concentration. The mineral composition of the solutions provided was the same except the nitrogen [1 mM KCl; 0.2 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 0.2 mM CaCl<sub>2</sub>; 0.1 mM MgSO<sub>4</sub>; 0.5% FeCl<sub>3</sub>; 0.2 mL/L of a trace element solution (Morizet and Mingeau, 1976), pH 5.5]. Seedling growth was characterized on 4 seedlings at the 15, 30, 120, 210 and 420-day growth stages.

In the second experiment, the seed content of 10 cones

**Table II.**  
Dry weight average (mg) of two cedar provenances in response to the nitrogen form and concentration during 210 days

Age (days)	Gouraud				Moudemame			
	0.1 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	5 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.1 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	5 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.1 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
15	33.8 ± 1.34 <sup>*</sup>	33.8 ± 1.34 <sup>*</sup>	33.8 ± 1.34 <sup>*</sup>	33.8 ± 1.34 <sup>*</sup>	30.2 ± 1.76	30.2 ± 1.76	30.2 ± 1.76	30.2 ± 1.76
30	40.0 ± 1.44 <sup>a</sup>	43.3 ± 4.38 <sup>ab</sup>	54.2 ± 2.11 <sup>b</sup>	48.3 ± 3.35 <sup>ab</sup>	43.3 ± 2.89 <sup>a</sup>	54.5 ± 4.46 <sup>a</sup>	50.0 ± 3.25 <sup>a</sup>	53.2 ± 2.56 <sup>a</sup>
120	98.9 ± 5.26 <sup>ab</sup>	88.4 ± 4.23 <sup>a*</sup>	79.2 ± 1.23 <sup>a</sup>	127.8 ± 10.74 <sup>b</sup>	97.4 ± 10.60 <sup>ab</sup>	122.6 ± 13.94 <sup>a</sup>	86.7 ± 6.15 <sup>b</sup>	105.3 ± 1.39 <sup>ab</sup>
210	101.9 ± 6.51 <sup>a</sup>	117.1 ± 21.20 <sup>ab*</sup>	104.4 ± 5.94 <sup>a</sup>	160.2 ± 6.94 <sup>b</sup>	125.3 ± 15.93 <sup>a</sup>	167.5 ± 10.30 <sup>a</sup>	127.3 ± 17.20 <sup>a</sup>	124.1 ± 11.23 <sup>a</sup>

Mean ± SD followed by letters and asterisks indicating significant differences (P < 0.05 LSD test) between the nitrogen treatment and between the provenances, respectively.

from the Moudemame provenance were put to germinate. After the appearance of the cotyledons, the seeds were sorted according to the number of cotyledons and transplanted separately into the culture pots containing soil from the same provenance. The cultures were watered weekly with running water. At the 210-day growth stage, 4 seedlings from each group were harvested for growth analysis.

All cultures are maintained under a temperature ranging from 24 to 32 °C, a photoperiod of 16/8 h and a relative humidity of the order of 50 to 70% in the growth chamber. All seedlings were daily moistened with water during dry periods.

### Statistical analysis

The average dry weight of seeds, cotyledons, embryos, seedlings, shoots, roots, needles, stems, main roots, secondary roots and tertiary roots was determined by weighing after drying of the fresh material in an oven for 48 hours at 70 °C. The water content (Wt%) of seeds and embryos was calculated according to the formula:  $Wt\% = [(FW - DW) / DW] \times 100$ . The water content of seeds at saturation ( $Wt_{sat}\%$ ) was calculated according to the formula:  $Wt_{sat}\% = [(W_{sat} - DW) / DW] \times 100$ . With FW: mass of fresh material, DW: dry weight and  $W_{sat}$ : seed mass after soaking in water for 48 hours. The length (Lg), number (Nb) and diameter ( $\phi$ ) of embryos, cotyledons and radicles were estimated by taking images under a binocular magnifier glass and using ImageJ software (Version 1.50i, 2016). The data obtained have been subject to a variance analysis (ANOVA) and the means were compared by Fisher's Least Significant Difference (LSD) Post Hoc test at  $P < 0.05$ . The Pearson bilateral correlation coefficients at 5% risk of error were calculated to estimate the relationship between cotyledon dry weight and the growth of cedar seedlings organs. A second Pearson bilateral correlation was calculated to estimate the relationship between the difference of cotyledons dry weight and the difference of organs dry weight

(DW) on ammonium and on nitrate, as shown by the formula: correlation between  $\Delta C$  and  $\Delta O$  with:

- $\Delta C = [\text{cotyledons dry weight on } (NH_4^+) - \text{cotyledons dry weight on } (NO_3^-)]$ ,
- $\Delta O = [\text{organs dry weight on } (NH_4^+) - \text{organs dry weight on } (NO_3^-)]$ .

All these statistical analyses have been done by IBM SPSS Statistics (Version 20.0, 2011). The mean, the maximum, the minimum, the coefficient of variation, and the standard deviation are calculated to describe the physiological and morpho-anatomical characteristics of the seeds of the two provenances, and that of the dry weight for the cotyledons, the seedlings and the root system at the 120-day stage.

## Results

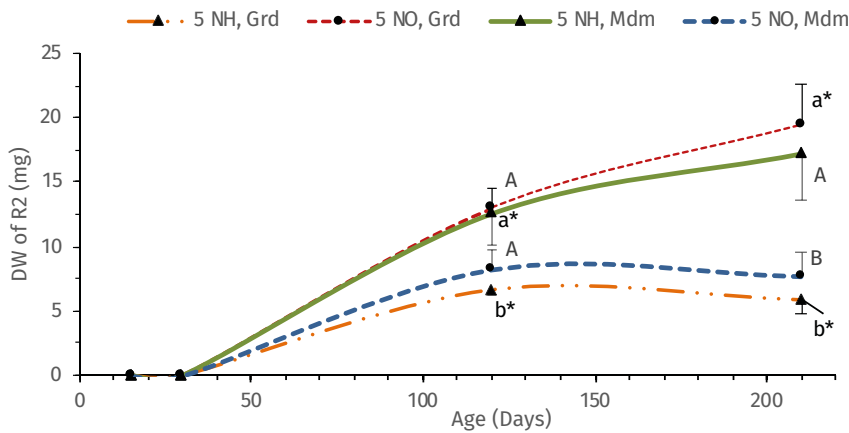
### Experiment 1: inter-provenance variability

Table II describes the response of two different provenances of *Cedrus atlantica* seedlings to the nitrogen form and concentration over 210 days. In this experiment, control seedlings that do not receive nitrogen (non-physiological control) eventually die during the early stages of growth (data not shown). At the 15-day stage, the seeds of each provenance were transplanted onto the fertilized organic substrate at an average DW of 33.8 and 30.8 mg for Grd and Mdm, respectively. At the age of 30 days the seedlings of provenance Grd show an increased growth when received  $NO_3^-$  compared to  $NH_4^+$ . At the 120- and 210-day stage the increase of  $NO_3^-$  concentration from 0.1 to 5 mM stimulates significantly the cedar seedling growth at the Grd provenance. In contrast to Grd, Mdm is less sensitive to the form and the increase of nitrogen concentration. The comparison between the response of the two provenances shows that Mdm displays a significant preference towards the ammoniacal form at high concentration in 120 and 210 old day stage with 122.6 mg and 167.5mg, respectively. The other forms and concentration show no significant difference (table II).

Given the significant results found, only at the level of the 5 mM concentration, we are looking for the effect of this concentration on the different parts of the seedling. The general shape of the growth curves of the roots and shoots, shows that the average dry weight of the Gouraud provenance is distinguished, from the 30-day stage, by a significant preference towards the nitric form at the level of the roots. This preference also appears at the level of the

**Table III.**  
 Change in the dry weight of roots and shoot of the two *Cedrus atlantica* provenances in response to the nitrogen form.

		Age (Days)	15	30	120	210
Shoot	Grd	5 $NH_4^+$	29.025 ± 1.38 <sup>a</sup>	38.325 ± 3.79 <sup>a</sup>	70.6 ± 2.75 <sup>ab</sup>	89.275 ± 15.54 <sup>a</sup>
		5 $NO_3^-$	29.025 ± 1.38 <sup>a</sup>	42.625 ± 2.91 <sup>a</sup>	90.75 ± 6.23 <sup>b</sup>	105.375 ± 5.47 <sup>a</sup>
	Mdm	5 $NH_4^+$	25.6 ± 1.45 <sup>a</sup>	47.05 ± 3.98 <sup>a</sup>	84.675 ± 11.96 <sup>a</sup>	114.7 ± 7.18 <sup>a</sup>
		5 $NO_3^-$	25.6 ± 1.45 <sup>a</sup>	47.4 ± 2.30 <sup>a</sup>	76.675 ± 2.33 <sup>a</sup>	88.85 ± 5.48 <sup>a</sup>
Roots	Grd	5 $NH_4^+$	4.75 ± 0.33 <sup>a</sup>	4.975 ± 1.06 <sup>a</sup>	17.775 ± 1.81 <sup>a</sup>	27.825 ± 5.66 <sup>a</sup>
		5 $NO_3^-$	4.75 ± 0.33 <sup>a</sup>	5.675 ± 0.44 <sup>a</sup>	37.025 ± 4.51 <sup>c</sup>	54.8 ± 4.55 <sup>b</sup>
	Mdm	5 $NH_4^+$	4.625 ± 0.36 <sup>a</sup>	7.425 ± 0.94 <sup>a</sup>	37.95 ± 4.04 <sup>c</sup>	52.75 ± 3.13 <sup>b</sup>
		5 $NO_3^-$	4.625 ± 0.36 <sup>a</sup>	5.825 ± 0.34 <sup>a</sup>	28.575 ± 2.01 <sup>b</sup>	35.25 ± 6.94 <sup>a</sup>
Grd: Gouraud; Mdm: Moudemame. Letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ LSD test) at shoot and roots.						



**Figure 1.** Averages of the dry weight (DW) of the secondary roots (R<sub>2</sub>) of *Cedrus atlantica* M. from the two provenances Gouraud (Grd) and Moudemame (Mdm), in response to the variation of the nitrogen form. Letters and asterisks indicate significant differences (P < 0.05 LSD test) between nitrogenous forms and provenances, respectively.

shoot but without significant difference. While at the level of Moudemame provenance, the average dry weight of the roots and shoots does not show any significant difference with respect to the nitrogen form. Seedlings from Gouraud provenance differed positively and significantly from Moudemame in response to NO<sub>3</sub><sup>-</sup> from the 120-day stage with 37.025 vs

28.575 mg and continued to the 210-day stage with 54.8 vs 35.25 mg, respectively. On the other hand, at the level of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, the Gouraud provenance differs negatively and significantly from that of Moudemame on the 210<sup>th</sup> day of growth with 27.83 against 52.75 mg, successively (table III).

Since the first days of their appearance the gap between DW of secondary roots (R<sub>2</sub>) on NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> increases with time and characterized by a high preference of that of Grd toward the nitric form. In contrast to Grd, the secondary roots of Mdm show a significant preference toward the ammoniacal form, but until the 210 days of age. The comparison of the two provenances Grd and Mdm shows a highly significant difference of secondary roots, beyond the 120<sup>th</sup> days, in response to nitrogen form and reveals that R<sub>2</sub> of Grd and R<sub>2</sub> of Mdm prefers NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> forms, successively (figure 1).

Whether at the level of Grd or Mdm, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> or NO<sub>3</sub><sup>-</sup> the variability of the growth response depends on the variability in the cotyledons DW; so that the seeds of Mdm on NH<sub>4</sub><sup>+</sup> show a cotyledon DW that varies between a maximum of 51.9 mg and a minimum of 10 mg which gives rise to a large coefficient of variation (CV) of 45.30, these seeds also show a large variability in the DW of seedlings, total roots and secondary roots with a CV of 22.74, 21.28 and 38.10, respectively. In return, the seeds of Grd on NH<sub>4</sub><sup>+</sup> show a low cotyledon DW variability (CV of 11.37) and a low growth variability at the level of root system and total seedling growth (table IV).

The seeds of the Moudemame provenance are characterized by a clear superiority and a low variability (coefficient of variation), compared to those of Gouraud, at the level of the dry weight and the water content of the seeds, and at the level of the dry weight and the length of the embryo. However, seeds from the Gouraud provenance show a high and variable nitrogen content compared to those of Moudemame which shows a low content of N and a low coefficient of variation. Despite the fact that the water content at saturation, the number of cotyledons and the length of the radicle are greater in Moudemame seeds, they show a high coefficient of variation compared to Gouraud. The water content of the embryo and the length of the cotyledons are characterized by a clear superiority and a low variability at the level of provenance of Gouraud compared to that of Moudemame (table V, figure 2).

**Table IV.** Statistic description of analyzed dry weight (mg) for the cotyledons, the seedlings and the root system at the 120 day-stage.

		Gouraud				Moudemame			
		Cotd	Sdl	TR	R <sub>2</sub>	Cotd	Sdl	TR	R <sub>2</sub>
5 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	x	26.93	88.38	17.78	6.70	29.53	122.63	37.95	12.60
	M	30.20	105.30	23.70	8.40	51.90	178.40	45.90	16.30
	m	20.80	80.40	11.20	4.60	10.00	95.80	21.80	3.00
	CV	11.37	9.58	20.39	15.67	45.30	22.74	21.28	38.10
	SD	3.06	8.46	3.63	1.05	13.38	27.89	8.08	4.80
	N	4	4	4	4	4	4	4	4
5 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	x	28.73	127.78	37.03	13.00	27.50	105.25	28.58	8.23
	M	42.30	151.20	47.90	18.80	32.30	107.70	32.70	12.90
	m	18.50	104.00	21.10	9.40	22.30	99.70	21.70	4.80
	CV	35.25	16.81	24.38	22.31	14.18	2.64	14.09	36.78
	SD	10.13	21.48	9.03	2.90	3.90	2.78	4.03	3.03
	N	4	4	4	4	4	4	4	4

x: average; M: maximum; m: minimum; CV: coefficient of variation; SD: standard deviation; Cotd: cotyledon; Sdl: seedlings; TR: total roots; R<sub>2</sub>: secondary roots; N: number of population.



**Table V.**  
 Statistical description of the physiological and morpho-anatomical characteristics of seeds from the two provenances.

		Seed				Embryo			Cotyledon		Radicle	
		DW	Wt%	[N] <sub>mmol/g</sub>	W <sub>tsat</sub> %	DW	Wt%	Lg	Nb	Lg	Ø	Lg
Gouraud	$\bar{X}$	63.50	12.28	1.01	74.72	6.50	154.96	0.89	8.70	0.59	0.12	0.24
	M	73.30	16.72	1.17	103.28	8.40	173.08	1.00	10.00	0.67	0.13	0.27
	m	30.50	9.21	0.85	63.77	5.20	128.57	0.74	7.00	0.48	0.10	0.23
	CV	10.61	19.08	7.66	7.98	11.69	7.08	7.01	7.13	7.30	5.86	4.18
	SD	6.74	2.34	0.08	5.97	0.76	10.97	0.06	0.62	0.04	0.01	0.01
Moudmame	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	$\bar{X}$	75.02	13.41	0.83	82.12	8.42	129.13	1.02	8.80	0.67	0.12	0.26
	M	79.50	20.35	0.90	120.35	10.60	160.00	1.15	10.00	0.75	0.14	0.30
	m	69.40	10.58	0.77	67.42	5.90	106.52	0.91	8.00	0.62	0.11	0.22
	CV	2.15	16.70	4.40	10.52	11.16	9.38	4.33	9.09	5.17	5.59	8.90
SD	1.61	2.24	0.04	8.64	0.94	12.11	0.04	0.80	0.03	0.01	0.02	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

$\bar{X}$ : mean; M: maximum; m: minimum; CV: coefficient of variation; SD: standard deviation; DW: dry weight (mg); Wt%: water content; W<sub>tsat</sub>%: water content at saturation; Lg: length in mm; Nb: number and Ø: diameter at the limit between the hypocotyl and the radicle in mm; N: number of population; [N]: nitrogen content.

have the largest (466.4 mg) and the smallest (229.5 mg) needles DW, respectively, whereas the seedlings with 11 C are significantly similar to those with 10 C. The stem DW shows the same results like needles and seedlings except that the stem of seedlings with 11 C becomes significantly lower than those with 10 C. The main and secondary roots of the 10 C seedlings show the largest DW compared to those with 8 and 7 C, while, the seedlings with 11 and 9 C have an intermediate dry mass average on these root categories. The tertiary roots of seedlings with 11 C show the highest DW value while, the smallest value is shown at the level of the 7 C seedlings (figure 3).

The study of the correlation between the growth of seedling organs and the dry mass of cotyledons throughout 210 days, shows that all correlations are positive, except for the main root and needles at the 120-day stage. Furthermore, the seedling growth is strongly and positively correlated with the cotyledons dry mass at  $p < 0.001$  level of signification over all growth stages studied. Secondary and tertiary roots are also positively correlated with the dry weight of cotyledons in late growth stages (table VI).

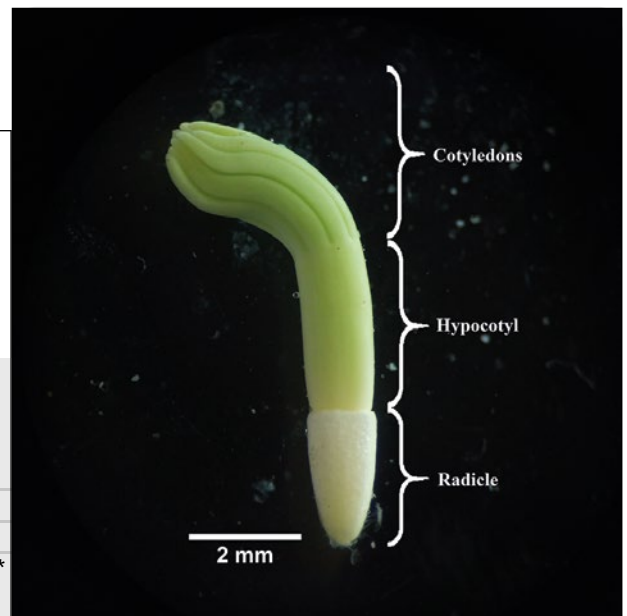
**Experiment 2: intra-provenance variability**

At the Mdm provenance, the number of cotyledons in *Cedrus atlantica* is variable between 7 and 11. The study of their effects on the seedling growth shows that the growth of the seedlings follows that of needles which shows a dry weight (DW) decrease in response to the cotyledon number decreasing. The seedlings with 10 and 7 cotyledons (C)

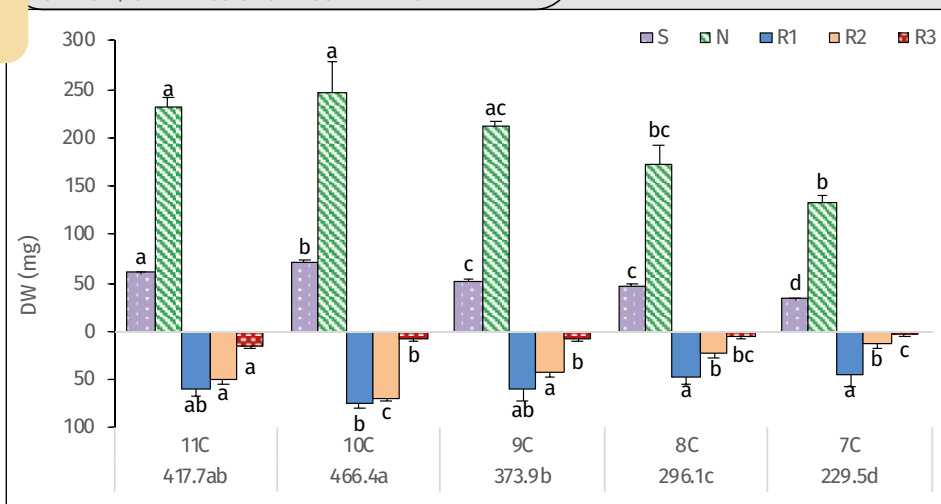
**Table VI.**  
 Pearson correlation coefficients between cotyledon dry weight and seedlings growth during 210 days at the level of Moudemame provenance.

	Days	Seedlings	Needles	Stem	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
Cotyledon DW	15	0.859**	na	0.693**	0.676**	na	na
	30	0.712**	0.357*	0.614**	0.447*	na	na
	120	0.615**	0.240	0.642**	0.306	0.582**	na
	210	0.615**	0.426*	0.522**	0.564**	0.390*	0.474**

DW: dry weight; R<sub>1</sub>: main root; R<sub>2</sub>: secondary roots; R<sub>3</sub>: tertiary roots; na: not applicable. Bilateral correlation is significant at the 0.01 (\*\*) or 0.05 (\*) level.



**Figure 2.**  
 Photo taken under a binocular magnifying glass (SZX10) showing an embryo of *Cedrus atlantica* M.



**Figure 3.**

Dry weight (DW) average of seedlings and organs of Moudemame provenance in response to the number of cotyledons (C). N: needles; S: stem; R1: main root; R2: secondary roots and R3: tertiary roots. The values at the base of the histograms indicate the average DW of the seedlings. Letters indicate significant differences ( $P < 0.05$  LSD test).

The study of the Pearson correlation between the cotyledons DW and seedlings DW in ammoniacal and nitric nutrition, shows that the variation of cotyledons DW is significantly and positively correlated with the variation of seedling growth in response to the N-form. The positive correlation also manifested between the cotyledons DW, and the shoots and the roots on all the stages of growth studied, especially, at the stage 120 days where it is significant at a rate of  $p < 0.001$ . The correlation at the organ level shows that the needles DW is significantly correlated with cotyledons DW only at the 120-day stage, whereas, the main root is significantly correlated to the cotyledon at all stages of growth. The stem, secondary roots and tertiary roots are weakly and positively correlated with cotyledons DW with a coefficient ranging from 0.291 to 0.450 (table VII).

between the growth of the organs and the cotyledons. These results suggest that the cotyledons control the growth of cedar seedlings ( $C_i$ ). This conclusion is therefore in agreement with previous studies which have shown, in seedlings of *Cedrus deodara*, that physiologically efficient cotyledons are a key component of seedling growth and establishment (Mughal and Thapliyal, 2012).

On the other hand, this study also shows that the form and the concentration of nitrogen affect the growth and development of cedar seedlings differently according to the provenances – with a significant preference of that of Moudemame towards the ammoniacal form and that of Gouraud towards the nitric form. This difference is more apparent at the level of the roots and in particular the secondary roots which show a significant difference between the two provenances in response to the nitrogenous forms. These results agree with previous results which show a very significant difference between the provenances

for the growth of the seedlings of *Abies guatemalensis* Rehder, *Pinus nigra* Arnold and *Cedrus atlantica* Manetti in response to substrates (Aoujdad *et al.*, 2015; Mataruga *et al.*, 2010; Strandby Andersen *et al.*, 2008). Taken together, these results suggest the existence of intrapopulation differences within *C. atlantica* for nitrogen nutrition; so that different provenances show a preference for one form of nitrogen or another ( $C_{ii}$ ).

From the conclusions ( $C_i$ ) and ( $C_{ii}$ ), it is questionable whether this preference of the nitrogen form depends solely on the origin of the seeds. To answer this hypothesis, we used the cotyledons as a characteristic separating the differ-

**Table VII.**

Pearson correlation coefficients during 210 days between (i) the dry weight difference of the cotyledons on  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  (ii) the growth difference of the seedlings on  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$ .

	Age (days)	$DW_{(NH)} - DW_{(NO)}$							
		Seedlings	Shoot	Root	Needles	Stem	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
$C_{DW(NH)} - C_{DW(NO)}$	15	na	na	na	na	na	na	na	na
	30	0.584*	0.506*	0.527*	0.291	0.413	0.527*	na	na
	120	0.692**	0.615**	0.632**	0.529*	0.435	0.521*	0.353	na
	210	0.588*	0.517*	0.533*	0.45	0.437	0.510*	0.415	0.36

$C_{DW}$ : cotyledon dry weight; R<sub>1</sub>: main root; R<sub>2</sub>: secondary roots; R<sub>3</sub>: tertiary roots. Bilateral correlation is significant at the 0.01 (\*\*) or 0.05 (\*) level.

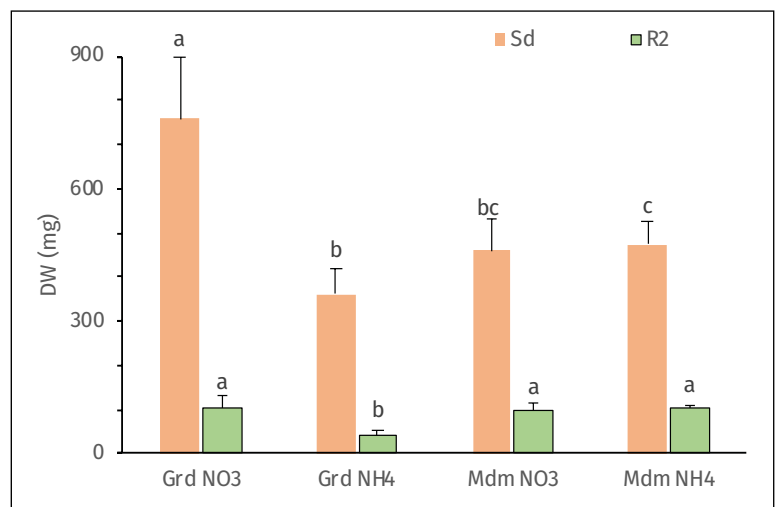
## Discussion

ent genotypes and we studied Pearson's bilateral correlation between (i) the difference in cotyledon mass on  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$ , and (ii) the difference in the mass of the organs on  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  (table VII). This statistical test shows that the variation in the dry mass of the cotyledons is significantly and positively correlated with the growth response to the nitrogenous form. This means that the gap between growth on  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  depends on the cotyledons. The present results are consistent with those of Stöcklin and Armbruster (2016) which show that seed-producing individuals strongly differ molecularly from each other despite their proximity. Overall, it can be suggested that the preference of the nitrogen form by seedlings depends on the cotyledons which themselves depend on the availability and form of nitrogen in the rhizosphere of the mother plant during seed formation. Because the seeds are the sinks of the nitrogen assimilated during the reproductive stage of the mother plant (Strandby Andersen *et al.*, 2008; Tegeuder and Masclaux-Daubresse, 2018). This conclusion suggests the need to compare these provenances of soils from the point of view of nitrate and ammonium content as well as the enzymatic activities involved in the two forms of nitrogen nutrition. It would also be appropriate to characterize the mineralization of organic matter by microorganisms in our soils.

Up to the 210-day growth stage, the secondary roots of seedlings from Gouraud and those from Moudemame show a significant preference towards  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$ , respectively (figure 1). At the 420-day stage, when the seedlings have lost their cotyledons by senescence, the Gouraud seedlings and their secondary roots continue to prefer the  $\text{NO}_3^-$ , while those of Moudemame have lost their preferences for the  $\text{NH}_4^+$  form (figure 4). These results suggest that the preference of the  $\text{NO}_3^-$  by the Gouraud provenance is linked to factors other than the cotyledons. These results agree with previous results of Mughal and Thapliyal (2012) which showed that the heritability values of the species depend on 31.29% of the number of cotyledons suggesting that these characters were under strong genetic control. This means that the cotyledons only separate between the different genotypes and have little effect on the preference of  $\text{NO}_3^-$ . Contrary, the preference of the  $\text{NH}_4^+$  by Moudemame is linked to the presence of cotyledons which agrees with the fact that the photosynthesis and the nutrient storage capacity of the cotyledons control the growth of Pinaceae seedlings (Johnson *et al.*, 2011; Johnson and Smith, 2005; Kozłowski and Pallardy, 1997; Mughal and Thapliyal, 2012). This second suggestion is confirmed by the fact that the seeds of the two provenances are significantly different in dry mass and nitrogen content with 63.50 mg, 1.01 mmol/g for Gouraud and 75.02 mg, 0.83 mmol/g for Moudemame, respectively (table V); and also, at the start-up stage, 15 days, with 33.8 mg for Gouraud and 30.2 mg for Moudemame (table II). This effect of cotyledons on the preference for the ammoniacal form agrees with the results of Zhang *et al.* (2018) who found that preference of the nitrogen form is also related to age. This preference can be obtained by increasing the level of transcription of

the *SbGln1.3* genes and by the accumulation of glutamine synthetase in the roots and / or in the cotyledons as found by El Omari *et al.* (2010) for ammonium tolerance.

In other terms, the results discussed here show that *C. atlantica* present two forms of adaptation to nitrogen feed; The first is bound to age (presence of cotyledons) and the second is genetically determined (post-cotyledonary stage). From the fact that the differences between seed provenances are attributed to natural selection of different characters in their natural habitats (Rawat and Uniyal, 2011); we can suggest that these responses presented here represent different *C. atlantica* genotype / provenance strategies for adapting to nitrogen fluctuations in soil. This aspect therefore requires further investigations at the level of the enzymatic reserves and activities of the cotyledons between the different genotypes and provenances of *C. atlantica*.



**Figure 4.** Dry weight average of two cedar provenances in response to the nitrogen form at the 420-day stage. Sd: seedlings; R2: secondary roots; Grd: Gouraud provenance; Mdm: Moudemame provenance. Letters indicate significant differences ( $P < 0.05$  LSD test).

The fact that both provenances modulate the growth of secondary roots in response to the form of nitrogen as shown in this study and to the physico-chemical properties of the soil as shown by El Amrani and Bendriss Amraoui (2018); suggests that secondary roots are the first organ that adapts to fluctuations in the soil. This observation is in agreement with the results of Courbet *et al.* (2012) who underline the important role of *C. atlantica* roots in adaptation to environmental constraints. Based on these findings on secondary roots and others that report the contribution of these roots in the competitiveness of *Pinus radiata* genotypes D. Don (Gautam *et al.*, 2003); we can assume that the competitiveness of different trees within the same provenance is related to the level of preference of each genotype to adopt and use the different forms of nitrogen, and the flexibility of secondary root growth in response to fluctuation nitrogen resources in the soil.

## Conclusion

The results of this paper reveal an intraspecific difference within provenances of *C. atlantica* for nitrogen nutrition. They also show that the nitrogen preference is related to the age of the seedlings and the cotyledons as a criterion that separates the different genotypes. *C. atlantica* seedlings have a high nitrogen requirement and their adaptation / preference is especially visible at high concentrations and at the level of the secondary roots as the organ most responsive to the fluctuation of nitrogen in the soil. This study provides preliminary information on the form and availability of nitrogen requirements of the different genotypes at least at the juvenile stage to stimulate cedar regeneration in reforestation programs. However, future studies will be needed to elucidate how cotyledons are linked to genetic factors in the preference of nitrogen forms and to explain the existence of cedar genotypes that preferring  $\text{NO}_3^-$  despite the fact that coniferous forest soils are generally acidic.

### Funding

This work was funded by Department of Biology, Faculty of Science Dhar El Mehraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fes, Morocco.

### Data

Data used to produce this study can be accessible with an agreement of the corresponding author.

## References

- Aoujdad J., Abbas Y., Hanane S., Ouajdi M., Bouthier B., Mounir F., et al., 2015. Substrate effect on the growth of seedlings of four provenances of Atlas cedar (*Cedrus atlantica* M.) in plant nursery. *Journal of Material and Environmental Science*, 6: 2817-2824. [[Semantic scholar](#)]
- Baldock J. A., Nelson P. N., 2000. Soil organic matter. In: Summer M. E. (ed.). *Handbook of Soil Science*. CRC Press, B25-B84. [[ResearchGate](#)]
- Berthelot M., 1859. Violet d'aniline. *Société Chimique de Paris*, 1: 284.
- Boukcim H., Pagès L., Mousain D., 2006. Local  $\text{NO}_3^-$  or  $\text{NH}_4^+$  supply modifies the root system architecture of *Cedrus atlantica* seedlings grown in a split-root device. *Journal of Plant Physiology*, 163: 1293-1304. [[Crossref](#)]
- Bouyoucos G. J., 1935. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Science*, 23 (5): 343-353. [[Crossref](#)]
- Courbet F., Lagacherie M., Marty P., Ladier J., Ripert C., Riou-Nivert P., et al., 2012. Le cèdre en France face au changement climatique : bilan et recommandations. *Forêt Entreprise*, 204 : 41-45. [[HAL](#)]
- Court-Picon M., Gadbin-Henry C., Guibal F., Roux M., 2004. Dendrometry and morphometry of *Pinus pinea* L. in Lower Provence (France): adaptability and variability of provenances. *Forest Ecology and Management*, 194: 319-333. [[Crossref](#)]
- El Amrani B., 2022. Étude de l'effet des propriétés biotiques et abiotiques du sol sur la croissance et la mycorhization du cèdre, *Cedrus atlantica* Manetti. *Bois et Forêts des Tropiques*, 351 : 85-86. [[Crossref](#)]
- El Amrani B., Bendriss Amraoui M., 2022. Soil microbial communities affect development of *Cedrus atlantica* M. *Asian Journal of Plant and Soil Sciences*, 7 (1): 43-50. [[AJPSS](#)]
- El Amrani B., Bendriss Amraoui M., 2020. Biomechanics of Atlas Cedar roots in response to the medium hydromechanical characteristics. *Scientifica*, 2020: 1-11. [[Crossref](#)]
- El Amrani B., Bendriss Amraoui M., 2018. Effects of some properties of cedar forest soils on secondary roots of *Cedrus atlantica* Manetti. *Journal of Forest Science*, 64: 506-513. [[Crossref](#)]
- El Mderssa M., Malki F., Ikraoun H., Nassiri L., Ibjibijien J., 2022. Détermination des paramètres d'évaluation du stock de carbone dans les écosystèmes forestiers (*Cedrus atlantica* Manetti, cèdre de l'Atlas au Maroc) : méthodes spécifiques et génériques. *Bois et Forêts des Tropiques*, 351 : 67-77. [[Crossref](#)]
- El Omari R., Rueda-López M., Avila C., Crespillo R., Nhiri M., Cánovas F. M., 2010. Ammonium tolerance and the regulation of two cytosolic glutamine synthetases in the roots of sorghum. *Functional Plant Biology*, 37: 55-63. [[Crossref](#)]
- Gautam M. K., Chang S. X., Mead D. J., Clinton P. W., Roberts E. H., 2003. First order lateral root characteristics reflect the competitiveness of radiata pine genotypes in agroforestry systems. *Australasia Forestry Conference*, Queenstown, New Zealand, April 2003, 1-10. [[ResearchGate](#)]
- Holloway D. M., Rozada I., Bray J. J. H., 2018. Two-stage patterning dynamics in conifer cotyledon whorl morphogenesis. *Annals of Botany*, 121: 525-534. [[Crossref](#)]
- Houlton B. Z., Sigman D. M., Schuur E. A. G., Hedin L. O., 2007. A climate-driven switch in plant nitrogen acquisition within tropical forest communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104: 8902-8906. [[Crossref](#)]
- Johnson D. M., McCulloh K. A., Reinhardt K., 2011. The Earliest Stages of Tree Growth: Development, Physiology and Impacts of Microclimate. In: Meinzer F. C., Lachenbruch B., Dawson T. E. (eds). *Size- and Age-Related Changes in Tree Structure and Function*. Dordrecht, Netherlands, Springer, 65-87. [[Crossref](#)]
- Johnson D. M., Smith W. K., 2005. Refugial forests of the southern Appalachians: photosynthesis and survival in current-year *Abies fraseri* seedlings. *Tree Physiology*, 25: 1379-1387. [[Crossref](#)]
- Kjeldahl J., 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22: 366-382. [[Crossref](#)]
- Kozłowski T. T., Pallardy S. G., 1997. *Growth control in woody plants*. San Diego, CA, USA, Academic Press, *Physiological Ecology series*, 641 p. [[Crossref](#)]
- Li Z., Schneider R. L., Morreale S. J., Xie Y., Li C., Li J., 2018. Woody organic amendments for retaining soil water, improving soil properties and enhancing plant growth in desertified soils of Ningxia, China. *Geoderma*, 310: 143-152. [[Crossref](#)]
- Linares J. C., Taïqui L., Camarero J. J., 2011. Increasing Drought Sensitivity and Decline of Atlas Cedar (*Cedrus atlantica*) in the Moroccan Middle Atlas Forests. *Forests*, 2: 777-796. [[Crossref](#)]
- Mangalassery S., Kalaivanan D., Philip P. S., 2019. Effect of inorganic fertilisers and organic amendments on soil aggregation and biochemical characteristics in a weathered tropical soil. *Soil and Tillage Research*, 187: 144-151. [[Crossref](#)]

- Marshall P. E., Kozłowski T. T., 1976. Compositional changes in cotyledons of woody angiosperms. *Canadian Journal of Botany*, 54: 2473-2477. [Crossref]
- Masclaux-Daubresse C., Daniel-Vedele F., Dechognat J., Chardon F., Gaufichon L., Suzuki A., 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*, 105: 1141-1157. [Crossref]
- Mataruga M., Haase D. L., Isajev V., 2010. Dynamics of seed imbibition and germination of Austrian pine (*Pinus nigra* Arnold) from extreme habitat conditions within five Balkan provenances. *New Forests*, 40: 229-242. [Crossref]
- Molina-Herrera S., Romanyà J., 2015. Synergistic and antagonistic interactions among organic amendments of contrasted stability, nutrient availability and soil organic matter in the regulation of C mineralisation. *European Journal of Soil Biology*, 70: 118-125. [Crossref]
- Morizet S., Mingeau M., 1976. Influence des facteurs du milieu sur l'absorption hydrique (étude effectuée sur tomate décapitée en exsudation). *Facteurs nutritionnels. Annales Agronomiques*, 27 (2) : 183-205.
- Moukrim S., Lahssini S., Rifai N., Menzou K., Mharzi-Alaoui H., Labbaci A., et al., 2020. Modélisation de la distribution potentielle de *Cedrus atlantica* Manetti au Maroc et impacts du changement climatique. *Bois et Forêts des Tropiques*, 344, 3-16 [Crossref]
- Mughal A. H., Thapliyal R. C., 2012. Provenance variation in cone and seed characteristics of *Cedrus deodara* (D. DON) G. DON in Jammu and Kashmir. *Forestry Studies in China*, 14: 193-199. [Crossref]
- Murphy J., Riley J. P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36. [Crossref]
- Rawat B. S., Uniyal A. K., 2011. Variability in cone and seed characteristics and seed testing in various provenances of Himalayan spruce (*Picea smithiana*). *Journal of Forestry Research*, 22: 603-610. [Crossref]
- Saiz-Fernández I., De Diego N., Sampedro M. C., Mena-Petite A., Ortiz-Barredo A., Lacuesta M., 2015. High nitrate supply reduces growth in maize, from cell to whole plant. *Journal of Plant Physiology*, 173: 120-129. [Crossref]
- Sniderhan A. E., McNickle G. G., Baltzer J. L., 2018. Assessing local adaptation vs. plasticity under different resource conditions in seedlings of a dominant boreal tree species. *AoB PLANTS*, 10: 1-13. [Crossref]
- Song H., Lei Y., Zhang S., 2018. Differences in resistance to nitrogen and phosphorus deficiencies explain male-biased populations of poplar in nutrient-deficient habitats. *Journal of Proteomics*, 178: 123-127. [Crossref]
- Stöcklin J., Armbruster G. F. J., 2016. Environmental filtering, not local adaptation of established plants, determines the occurrence of seed- and bulbil-producing *Poa alpina* in a local flora. *Basic and Applied Ecology*, 17: 586-595. [Crossref]
- Strandby Andersen U., Prado Córdova J. P., Bräuner Nielsen U., Kollmann J., 2008. Provenance variation in germination and seedling growth of *Abies guatemalensis* Rehder. *Forest Ecology and Management*, 255: 1831-1840. [Crossref]
- Tafer M., Slimani S., Kherchouche D., Bekdouche F., Messaoudene M., 2022. Événements climatiques extrêmes et croissance radiale de *Cedrus atlantica* (Manetti) dans les massifs du Belezma et du Chélia (Algérie). *Bois et Forêts des Tropiques*, 350 : 43-56. [Crossref]
- Tegeder M., Masclaux-Daubresse C., 2018. Source and sink mechanisms of nitrogen transport and use. *New Phytologist*, 217: 35-53. [Crossref]
- Terrab A., Hampe A., Lepais O., Talavera S., Vela E., Stuessy T. F., 2008. Phylogeography of North African Atlas cedar (*Cedrus atlantica*, Pinaceae): Combined molecular and fossil data reveal a complex Quaternary history. *American Journal of Botany*, 95: 1262-1269. [Crossref]
- Terrab A., Paun O., Talavera S., Tremetsberger K., Arista M., Stuessy T. F., 2006. Genetic diversity and population structure in natural populations of Moroccan Atlas cedar (*Cedrus atlantica*; Pinaceae) determined with cpSSR markers. *American Journal of Botany*, 93: 1274-1280. [Crossref]
- Thomas P., 2013. Atlas Cedar: *Cedrus atlantica*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013, e.T42303A2970716. [Red List]
- von Aderkas P., 2002. In Vitro Phenotypic Variation in Larch Cotyledon Number. *International Journal of Plant Sciences*, 163: 301-307. [Crossref]
- Walkley A., Black I. A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63: 251-263. [Crossref]
- Zhang Z., Li N., Xiao J., Zhao C., Zou T., Li D., Liu Q., Yin H., 2018. Changes in plant nitrogen acquisition strategies during the restoration of spruce plantations on the eastern Tibetan Plateau, China. *Soil Biology and Biochemistry*, 119: 50-58. [Crossref]

#### El Amrani et al. – Author's contributions

Contributor Role	Contributor Names
Conceptualization	B. El Amrani, M. Bendriss Amraoui
Data Curation	B. El Amrani
Formal Analysis	B. El Amrani
Funding & Acquisition	Sidi Mohamed Ben Abdellah University
Investigation	B. El Amrani.
Methodology	B. El Amrani.
Project Administration	B. El Amrani.
Resources	Sidi Mohamed Ben Abdellah University
Software	B. El Amrani.
Supervision	M. Bendriss Amraoui
Validation	M. Bendriss Amraoui
Visualization	B. El Amrani
Writing – Original Draft Preparation	B. El Amrani
Writing – Review & Editing	M. Bendriss Amraoui

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad -  
© Bois et Forêts des Tropiques © Cirad



Cirad - Campus international de Baillarguet,  
34398 Montpellier Cedex 5, France  
Contact : [bft@cirad.fr](mailto:bft@cirad.fr) - ISSN : L-0006-579X



BOUSQUET F., QUINN T., JANKOWSKI F., MATHEVET R., BARRETEAU O., DHÉNAIN S., DI MASSO A., RICHARD-FERROUDJI A., 2022.

**ATTACHEMENTS ET CHANGEMENT DANS UN MONDE EN TRANSFORMATION.** FRANCE, ÉDITIONS QUÆ, 126 P.

Posons la question autour de nous : « Pourquoi les gens ne changent-ils pas ? » La réponse sera le plus souvent : « Parce qu'ils sont trop attachés à leurs privilèges, traditions, acquis, relations, cultures, terroirs, etc. Ils ne changeront jamais ! » Cette théorie qui veut que l'attachement empêche le changement fait partie du sens commun. Pourtant, depuis de nombreuses années, les chercheurs qui étudient le concept d'attachement, et notamment l'attachement au lieu, montrent que cette théorie n'est pas validée. L'attachement peut au contraire conférer de la sécurité aux individus et soutenir des engagements. Cet ouvrage s'appuie sur des enseignements de la littérature, ainsi que sur des propositions théoriques et méthodologiques transdisciplinaires. Il est le fruit des interactions entre des chercheurs de différentes disciplines qui ont travaillé en France, au Royaume-Uni, en Afrique du Sud et au Sénégal. La lecture de ce livre invitera, stimulera et guidera les étudiants, chercheurs, décideurs, usagers, ou toutes personnes engagées dans des processus de changement des systèmes sociaux et écologiques dans la prise en compte des attachements et des relations affectives pour accompagner les transitions.

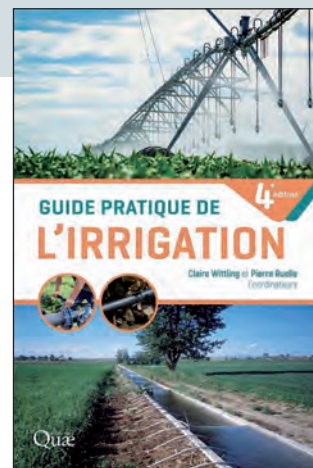
*Résumé adapté de celui de l'éditeur.*  
Éditions Quæ, c/o INRAE, RD 10,  
78026 Versailles Cedex, France.  
[www.quae.com](http://www.quae.com)



REY-VALETTE H., JABBOUR C., MAUREL P., SALLES J.-M., 2022. **INFRASTRUCTURES DE DONNÉES SPATIALES – ÉVALUATIONS ÉCONOMIQUES : CONCEPTS, MÉTHODES ET RETOURS D'EXPÉRIENCE.** FRANCE, ÉDITIONS QUÆ, 120 P.

Les demandes et les usages des données spatiales satellitaires se développent et se diversifient de façon importante, en lien avec la précision, la fréquence des prises de vue et la taille des images. Ainsi, il convient de comprendre et de rendre compte des impacts de cette production croissante sur l'organisation et la rationalisation des structures qui les utilisent, mais aussi sur l'efficacité et la transparence des politiques publiques mobilisant ces informations. Les infrastructures de données spatiales (IDS) représentent des dispositifs essentiels : elles facilitent l'accès aux images (acquisition, traitement, archivage), ainsi que les processus de mutualisation et d'innovation méthodologique. Elles constituent des biens publics informationnels et mobilisent des moyens croissants qui nécessitent de questionner les types de « modèles économiques » dont elles relèvent. Ce guide, pédagogique et opérationnel, s'adresse à l'ensemble des acteurs liés à la production ou à l'usage des informations spatiales. Il permet une lecture à la carte en fonction des centres d'intérêt et des disciplines, à travers de multiples encadrés et exemples. Il présente les concepts et les méthodes d'évaluation économique appliqués à l'information spatiale, en détaillant trois types d'approches selon que l'on veut estimer la valeur de l'information spatiale, mesurer les retombées économiques d'une IDS ou caractériser ses impacts par des approches multicritères.

*Résumé adapté de celui de l'éditeur.*  
Éditions Quæ, c/o INRAE, RD 10,  
78026 Versailles Cedex, France.  
[www.quae.com](http://www.quae.com)



WITTLING C. (COORD. ÉD.), RUELLE P. (COORD. ÉD.), 2022. **GUIDE PRATIQUE DE L'IRRIGATION (4<sup>E</sup> ÉDITION).** FRANCE, ÉDITIONS QUÆ, 354 P.

Le contexte du changement climatique et de la transition agroécologique renforce l'exigence d'un usage sobre de l'eau en agriculture. L'irrigation fait l'objet de nombreux débats quant à l'amélioration de ses performances tant technologiques qu'agronomiques et environnementales. Elle représente l'un des moyens de s'adapter et d'atténuer les effets du changement climatique. Pour qu'elle puisse pleinement jouer ce rôle, tout en prenant en compte la durabilité des milieux aquatiques et des ressources en eau et en énergie, une meilleure connaissance des matériels, des outils existants et de leur utilisation est nécessaire. La quatrième édition de ce guide pratique présente les notions de base en hydraulique, les stations de pompage, les différentes techniques d'irrigation (aspersion, localisée, de surface) et illustre l'efficacité de l'irrigation en eau et en énergie. Elle propose aussi des outils actualisés d'analyse et d'aide à la décision en matière de gestion et de conduite de l'irrigation (depuis l'échelle du territoire jusqu'à la parcelle). De nombreux liens vers des contenus numériques comme des calculatrices hydrauliques ou des exemples de cas concrets viennent compléter l'ensemble. Cet ouvrage a été élaboré sous la coordination de l'AFEID (Association française pour l'eau, l'irrigation et le drainage), en étroite collaboration avec les organismes de recherche-développement et les instituts techniques. Il s'adresse aux acteurs de l'irrigation et de la gestion de l'eau, agriculteurs, conseillers en développement, ingénieurs, techniciens.

*Résumé adapté de celui de l'éditeur.*  
Éditions Quæ, c/o INRAE, RD 10,  
78026 Versailles Cedex, France.  
[www.quae.com](http://www.quae.com)

## Kotibé – *Nesogordonia* spp.

Extrait de l'Atlas des bois tropicaux – Caractéristiques technologiques et utilisations  
 J. Gérard (coord.), D. Guibal (au.), J.-C. Cerre (au.), S. Paradis (au.), et 40 auteurs, 2016.  
 Éditions Quæ, 1 000 p.

<https://www.quae.com/produit/1408/9782759225521/atlas-des-bois-tropicaux>

**Accès à la notice d'information générale :**

<https://doi.org/10.19182/bft2021.347.a36353>

**Famille.** Malvaceae (Sterculiaceae).

**Noms botaniques.** *Nesogordonia fouassieri* Capuron ; *Nesogordonia kabingaensis* Capuron ; *Nesogordonia leplaei* Capuron ; *Nesogordonia papaverifera* Capuron (Syn. *Cistanthera papaverifera*)

**Continent.** Afrique.

**CITES** (Convention de Washington, 2016). Pas de restriction commerciale.

### Description de la grume

**Diamètre.** De 50 à 80 cm.

**Épaisseur de l'aubier.** De 2 à 5 cm.

**Flottabilité.** Non flottable.

**Conservation en forêt.** Faible (traitement nécessaire).

### Description du bois

**Couleur référence.** Brun rouge.

**Aubier.** Bien distinct.

**Grain.** Fin.

**Fil.** Droit ou contrefil.

**Contrefil.** Léger.

**Notes.** Bois brun pâle à brun rougeâtre. Aspect rubané et moiré sur quartier. Parfois, présence de très petits nœuds.



Faux quartier.

Photo D. Guibal, Cirad.



Quartier.

Photo D. Guibal, Cirad.

### Propriétés physiques et mécaniques

Propriété	Valeur moyenne
Densité <sup>(1)</sup>	0,76
Dureté Monnin <sup>(1)</sup>	5,0
Coefficient de retrait volumique	0,50 % par %
Retrait tangentiel total (Rt)	7,5 %
Retrait radial total (Rr)	5,1 %
Ratio Rt/Rr	1,5
Point de saturation des fibres	30 %
Conductivité thermique (λ)	0,25 W/(m.K)
Pouvoir calorifique inférieur	18 470 kJ/kg
Contrainte de rupture en compression <sup>(1)</sup>	67 MPa
Contrainte de rupture en flexion statique <sup>(1)</sup>	120 MPa
Module d'élasticité longitudinal <sup>(1)</sup>	13 020 MPa

(1) À 12 % d'humidité, avec 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>.

### Durabilité naturelle et imprégnabilité du bois

**Résistance aux champignons.** Classe 3 – moyennement durable.

**Résistance aux insectes de bois sec.** Classe D – durable (aubier distinct, risque limité à l'aubier).

**Résistance aux termites.** Classe D-M – durable à moyennement durable.

**Imprégnabilité.** Classe 3-4 – peu ou non imprégnable.

**Classe d'emploi couverte par la durabilité naturelle.** Classe 2 - à l'intérieur ou sous abri (risque d'humidification).

**Notes.** Cette essence est mentionnée dans la norme NF EN 350. Résistance aux champignons variable suivant les espèces.

### Traitement de préservation

Contre les attaques d'insectes de bois sec. Ce bois ne nécessite pas de traitement de préservation.

En cas d'humidification temporaire. Ce bois nécessite un traitement de préservation adapté.

En cas d'humidification permanente. L'utilisation de ce bois n'est pas conseillée.

### Séchage

Vitesse de séchage. Lente.

Risque de déformation. Peu élevé.

Risque de cémentation. oui.

Risque de fentes. Peu élevé.

Risque de collapse. Pas de risque particulier connu.

Notes. Risques de cémentation du bois si le séchage est trop rapide. Une période de resuyage préalable au séchage artificiel est conseillée.

Programme de séchage proposé. Programme n° 4 (voir note explicative).

### Sciage et usinage

Effet désaffûtant. Assez important.

Denture pour le sciage. Denture stellitée.

Outils d'usinage. Au carbure de tungstène.

Aptitude au déroulage. Bonne.

Aptitude au tranchage. Bonne.

Notes. Effet désaffûtant dû à la dureté du bois. Le bois à l'état vert tend à encrasser les dents de scie. Parfois, difficultés d'usinage dues au contrefil.

### Assemblage

Clouage/vissage. Bonne tenue.

Notes. Avant-trous nécessaires. Le bois peut se tacher lors du collage.

### Classements commerciaux

Classement d'aspect des produits sciés

Selon les règles de classement SATA (1996).

Pour le « Marché général »

Classements possibles avivés : choix i, choix ii, choix iii, choix iv.

Classements possibles coursons : choix i, choix ii.

Classements possibles coursons de chevrons : choix i, choix ii, choix iii.

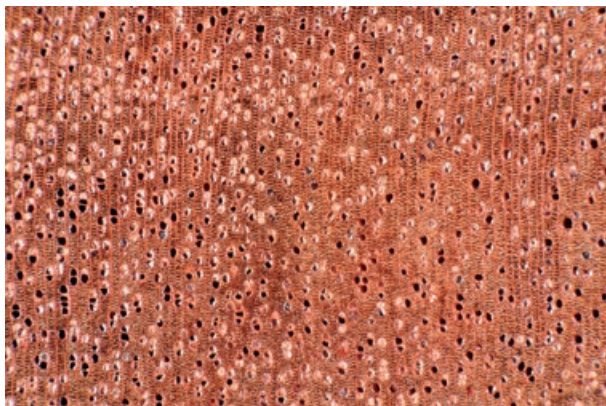
Pour les « Marchés particuliers »

Classements possibles frises et planchettes : choix i, choix ii, choix iii.

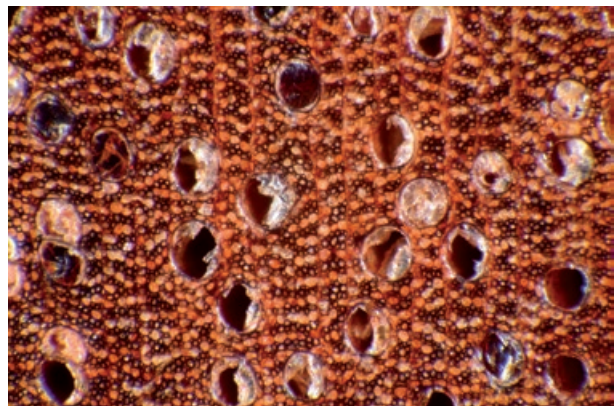
Classements possibles chevrons : choix i, choix ii, choix iii.

Sections transversales *Nesogordonia papaverifera*.

Photo J.-C. Cerre.



2 mm



0,5 mm



### Réaction au feu

Classement conventionnel français

Épaisseur > 14 mm : M3 (moyennement inflammable).

Épaisseur < 14 mm : M4 (facilement inflammable).

Classement selon euroclasses. D-s2, d0.

Ce classement par défaut concerne les bois massifs répondant aux exigences de la norme NF EN 14081-1 (avril 2016) : bois de structure utilisés en parois verticales et plafonds, classés, de densité moyenne minimale 0,35 et d'épaisseur minimale 22 mm.

### Principales utilisations

Articles tournés.

Ébénisterie (meuble de luxe).

Escalier d'intérieur.

Face ou contreface de contreplaqué.

Fond de véhicule ou de conteneur.

Intérieur de contreplaqué.

Lambris.

Manche d'outil (bois résilient).

Menuiserie extérieure.

Menuiserie intérieure.

Meuble courant ou élément meublant.

Parquet.

Placage tranché.

Sculpture.

### Principales appellations vernaculaires

Pays	Appellation
Angola	Kissinhungo
Cameroun	Ovoé, Ovoui
Côte d'Ivoire	Kotibé
Gabon	Aborbora
Ghana	Danta
Nigeria	Otutu
République centrafricaine	Naouya
République démocratique du Congo	Kondofindo
Royaume-Uni	Danta

Doi: <https://doi.org/10.19182/bft2022.353.a37000>

Droit d'auteur © 2022, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad © Quæ

Date de publication : 1<sup>er</sup> septembre2022



Revêtement de sol dans une cuisine – Brenco Exotic Woods (États-Unis).

## Kotibé / Danta\* – *Nesogordonia* spp.

\* Common commercial name.

From Tropical timber atlas – Technological characteristics and uses.

J. Gérard (coord.), D. Guibal (au.), J.-C. Cerre (au.), S. Paradis (au.), and 40 authors, 2016.

Publisher Éditions Quæ, 1000 p.

<https://www.quae.com/produit/1477/9782759227716/tropical-timber-atlas>

**Access to the general information leaflet:**

<https://doi.org/10.19182/bft2021.347.a36353>

**Family.** Malvaceae (Sterculiaceae).

**Botanical names.** *Nesogordonia fouassieri* Capuron ; *Nesogordonia kabingaensis* Capuron ; *Nesogordonia leplaei* Capuron ; *Nesogordonia papaverifera* Capuron (Syn. *Cistanthera papaverifera*)

**Continent.** Africa.

**CITES** (Washington Convention of 2017). No trade restrictions.

**Notes.** Genera *Tarrietia* and *Heritiera* are synonymous.

### Log description

**Diameter.** 50 to 80 cm.

**Thickness of sapwood.** 2 to 5 cm.

**Buoyancy.** Does not float.

**Log conservation.** Low (treatment necessary).

### Wood description

**Reference colour.** Red brown.

**Sapwood.** Clearly demarcated.

**Texture.** Fine.

**Grain.** Straight or interlocked.

**Interlocked grain.** Slight.

**Notes.** Wood light brown to reddish brown. Moiré and ribbonlike aspect on quartersawn. Sometimes presence of very small knots.

### Physical and mechanical properties

Property	Mean value
Density <sup>(1)</sup>	0.76
Monnin hardness <sup>(1)</sup>	5.0
Coefficient of volumetric shrinkage	0.50% par %
Total tangential shrinkage (Ts)	7.5%
Total radial shrinkage (Rs)	5.1%
T/R anisotropy ratio	1.5
Fibre saturation point	30%
Thermal conductivity ( $\lambda$ )	0.25 W/(m.K)
Lower heating value	18,470 kJ/kg
Crushing strength <sup>(1)</sup>	67 MPa
Static bending strength <sup>(1)</sup>	120 MPa
Longitudinal modulus of elasticity <sup>(1)</sup>	13,020 MPa

(1) At 12% moisture content, with 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>.

### Natural durability and treatability

**Resistance to decay.** Class 3 – moderately durable.

**Resistance to dry wood borers.** Class D – durable (sapwood demarcated, risk limited to sapwood).

**Resistance to termites.** Class D-M - durable to moderately durable.

**Treatability.** Class 3 – poorly or not permeable.

**Use class covered by natural durability.** Class 2 – inside or under cover (dampness possible).

**Notes.** This species is listed in the NF EN 350 standard. Variable natural resistance to decay depending on the species.



Half-quarter sawn.  
Photo D. Guibal, Cirad.



Quarter sawn.  
Photo D. Guibal, Cirad.

### Preservation treatment

Against dry wood borer attacks. This wood does not require any preservation treatment.

In case of temporary humidification. This wood requires appropriate preservation treatment.

In case of permanent humidification. Use of this wood is not recommended.

### Drying

Drying rate. Slow

Risk of distortion. Slight risk.

Risk of case hardening. Yes.

Risk of checking. Slight risk.

Risk of collapse. No known specific risk.

Notes. Risk of casehardening if drying is too fast. A period of air drying prior to kiln drying is

recommended.

Suggested drying schedule. Schedule #4 (see explanatory note).

### Sawing and machining

Blunting effect. Fairly high.

Tooth for sawing. Stellite-tipped.

Machining tools. Tungsten carbide.

Suitability for peeling. Good.

Suitability for slicing. Good.

Notes. Blunting effect due to hardness. Tends to clog sawteeth when green. Sometimes difficulties due to interlocked grain.

### Assembling

Nailing/screwing. Good.

Notes. Pre-boring necessary. Can stain when gluing.

### Commercial grading

Sawn timber appearance grading.

According to SATA grading rules (1996)

For the "General Purpose Market"

Possible grading for square-edged timbers: choice i, choice ii, choice iii, choice iv.

Possible grading for short-length lumbers: choice i, choice ii.

Possible grading for short-length rafters: choice i, choice ii, choice iii.

For the "Special Market"

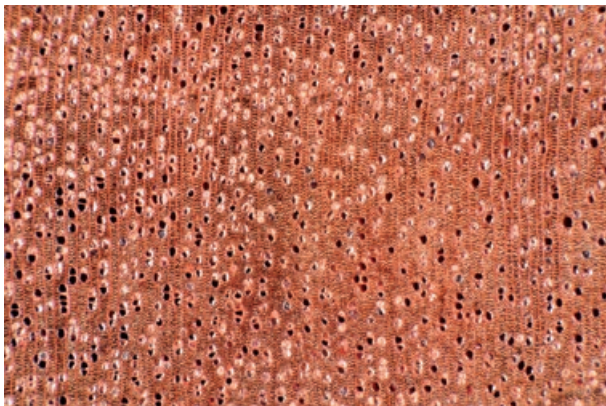
Possible grading for strips and small boards: choice i, choice ii, choice iii.

Possible grading for rafters: choice i, choice ii, choice iii.

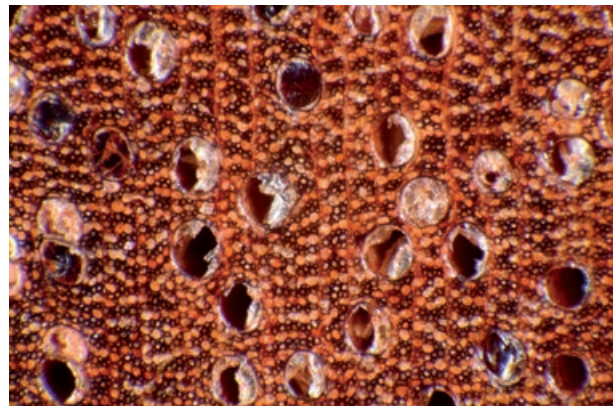
Possible grading for rafters: choice i, choice ii, choice iii.

Cross sections of *Nesogordonia papaverifera*.

Photo J.-C. Cerre.



2 mm



0,5 mm

### Fire safety

#### Conventional French grading

Thickness > 14 mm: M3 (moderately flammable).

Thickness < 14 mm: M4 (readily flammable).

#### Euroclass grading. D-s2, d0

Default grading for solid wood that meets requirements of European standard NF EN 14081-1 (April 2016): structural graded timber in vertical uses and ceilings with minimal mean density of 0.35 and minimal thickness of 22 mm.

### Main end uses

Turned goods.

Cabinetry (high-end furniture).

Stairs (inside).

Veneer for back or face of plywood.

Vehicle or container flooring.

Veneer for interior of plywood.

Panelling.

Tool handles (resilient woods).

Exterior joinery.

Interior joinery.

Built-in furniture or mobile item.

Flooring.

Sliced veneer.

Sculpture.

### Common names

Country	Local name
Angola	Kissinhungo
Cameroon	Ovoé, Ovoui
Côte d'Ivoire	Kotibé
Gabon	Aborbora
Ghana	Danta
Nigeria	Otutu
Central African Republic	Naouya
Democratic Republic of Congo	Kondofindo
United Kingdom	Danta

Doi: <https://doi.org/10.19182/bft2022.353.a37000>

Droit d'auteur © 2022, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad © Quæ

Date de publication : 1<sup>er</sup> septembre 2022



Kitchen flooring –  
 by Brenco Exotic Woods (United States).

RÉSUMÉ DE THÈSE /  
ACADEMIC THESIS ABSTRACT / RESUMEN DE TESIS ACADÉMICA

## Spatio-temporal dynamics of mangrove forest in Trat province, Thailand

Uday PIMPLE

## ABSTRACT

In the United Nations 2021–2030 ecosystem restoration programme, coastal ecosystems such as mangroves are listed as a priority for biodiversity restoration. Therefore, understanding mangrove species diversity and changes over time are essential to predict ecosystem health, viability and resilience to changing climatic and human pressures. However, when considering future conservation ambitions and policies for mangroves, it is also crucial to understand the effects of conservation interventions. To address these concerns, we needed to develop reliable inventory methods for mangrove forests, spatialised predictions of biodiversity and good practices for using Earth observation data. In this study, we investigated the gaps in knowledge concerning the spatial organisation, intertidal zones and the recent history of mangroves in Thailand's Trat province. We investigated the impacts on forest diversification of environmental parameters, such as topography, and of human interventions such as stand rehabilitation or plantations. We were able to integrate historical multi-satellite data, current ecological data and micro-topographic measurements to establish the status and describe the spatial organisation of the mangrove forests in the province of Trat. Using the method described in this study, we were able to overcome the technical limitations of monitoring protocols and thus develop a powerful decision-support system to assess the recovery period of mangrove forests, their structural growth and the species composition of plantations and natural native stands over three decades. Our study also identifies the main influencing factors that compromise the quality of Earth observation data, and proposes specific best practices for monitoring mangrove ecosystems. In addition, we developed the ARMA tool (Automatic Regrowth Monitoring Algorithm) and summarized functional indicators (secondary succession) by type of stand. ARMA can identify the years of planting, recovery period, age and structural development of rehabilitated mangroves compared to adjacent natural and naturally regenerating mangroves. We believe that our study makes a significant contribution to research on mangrove biodiversity, as it has several potential applications for forest restoration planning and management. It can therefore be a useful tool to measure and assess biodiversity and thereby improve ecosystem-based mangrove forest management.

**Keywords:** Trat province, mangrove species diversity Thailand, automatic regrowth monitoring algorithm, Landsat annual composites, rehabilitated mangroves, Google Earth Engine, systematic field inventories, tidal influence, ecosystem restoration, Thailand.

## Dynamique spatio-temporelle de la forêt de mangrove dans la province de Trat en Thaïlande

## RÉSUMÉ

Dans le programme 2021-2030 des Nations unies sur la restauration des écosystèmes, les mangroves sont identifiées comme une priorité pour la conservation et la restauration de la biodiversité. Il est donc important d'en comprendre la diversité spatiale et temporelle en espèces afin d'évaluer la résilience face aux changements climatiques et aux pressions anthropiques. Il est également crucial de comprendre les effets des actions précédemment menées lorsque l'on envisage le développement de politiques ambitieuses de conservation et de restauration. Pour répondre à ces préoccupations, nous avons dû développer des méthodes d'inventaire forestier fiables, prédire spatialement la biodiversité et utiliser de façon adéquate les données d'observation de la Terre. Dans cette étude, nous avons analysé les lacunes de connaissances concernant l'organisation spatiale, la zonation intertidale et l'histoire récente des mangroves de la province de Trat. Nous avons étudié l'impact, sur la diversification forestière, des paramètres environnementaux comme la topographie et les paramètres anthropiques comme la réhabilitation des peuplements ou les plantations. Nous avons réussi à intégrer des données multisatellites historiques, des données écologiques actuelles et des mesures microtopographiques pour établir un état et décrire l'organisation spatiale des mangroves de la province de Trat. La méthode présentée dans cette étude nous permet de surmonter les limites techniques des protocoles de surveillance et fournit un puissant système d'aide à la décision pour évaluer la période de récupération de la forêt, la croissance et la composition en espèces des plantations et des peuplements naturels sur trois décennies. Cette étude identifie également les principaux facteurs d'influence qui nuisent à la qualité des données d'observation de la Terre et propose de meilleures pratiques spécifiques à la surveillance des écosystèmes de mangrove. En outre, nous avons développé l'outil ARMA (*automatic regrowth monitoring algorithm*) et résumé les indicateurs fonctionnels (succession secondaire) par type de peuplement. ARMA est capable d'identifier les années de plantation, la période de récupération, l'âge et le développement des mangroves réhabilitées par rapport aux mangroves naturelles ou régénérées naturellement. Nous pensons que notre étude apporte une contribution significative à la recherche sur la caractérisation de la biodiversité des mangroves, car elle a plusieurs applications potentielles pour la planification et la gestion de la restauration forestière. Cet outil est utile pour mesurer et évaluer la biodiversité et pourra ainsi améliorer la gestion des forêts de mangrove.

**Mots-clés :** province de Trat, diversité des espèces de mangroves en Thaïlande, algorithme de suivi automatique de la repousse, composites annuels Landsat, mangroves réhabilitées, moteur Google Earth, inventaires systématiques sur le terrain, influence des marées, restauration des écosystèmes, Thaïlande.

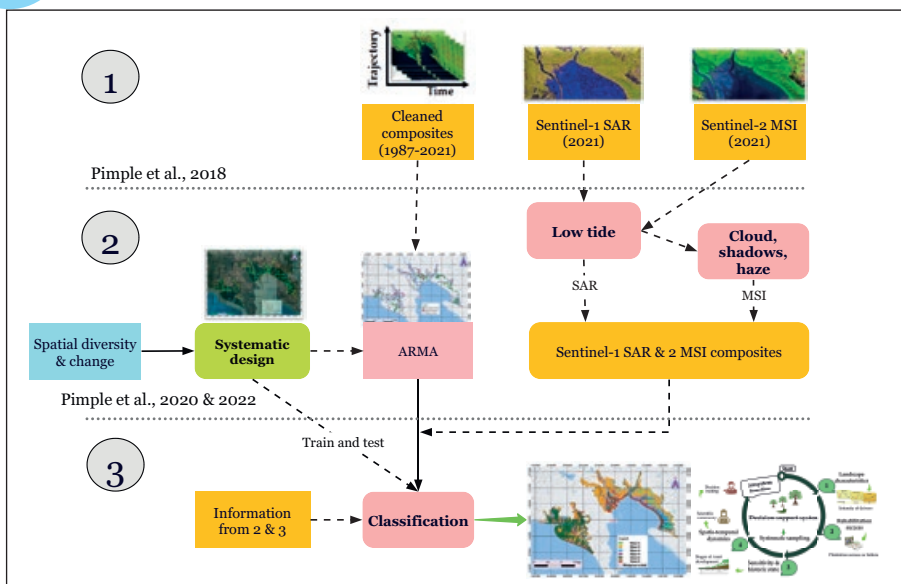
## Dinámica espaciotemporal de los bosques de manglares en la provincia tailandesa de Trat

## RESUMEN

En el programa de las Naciones Unidas 2021-2030 para la restauración de los ecosistemas, los ecosistemas costeros, como los manglares, figuran como una prioridad para la restauración de la biodiversidad. Por lo tanto, la comprensión de la diversidad de especies de manglares a gran escala y los cambios temporales son importantes para predecir la salud, la viabilidad y la resiliencia del ecosistema frente al cambio climático y la presión humana. Sin embargo, también es crucial comprender los efectos de las intervenciones de conservación a la hora de considerar futuros esfuerzos y políticas de conservación para los manglares. Para hacer frente a estas preocupaciones, debemos mejorar nuestra capacidad de reunir mediciones fiables de inventarios forestales, predicciones de biodiversidad a escala espacial y buenas prácticas para el uso de datos de observación de la Tierra. En este estudio investigamos las lagunas de conocimiento teniendo en cuenta la diversidad espacial potencial, la zonificación intermareal y el estado histórico de las especies forestales de los manglares, y comprobamos el papel de las configuraciones ambientales, como la topografía y los entornos antropogénicos (rehabilitación o plantación), en la diversificación. Hemos integrado con éxito datos históricos de multisatélites, datos ecológicos actuales y mediciones microtopográficas para establecer un estado histórico y una zonificación de los bosques de manglares en la provincia tailandesa de Trat. El método introducido en este estudio permite superar las limitaciones técnicas de los protocolos de seguimiento y proporciona un potente sistema de apoyo a la toma de decisiones para evaluar el periodo de recuperación del bosque, el crecimiento estructural y la composición en especies de las plantaciones y los rodales naturales nativos a lo largo de tres décadas. Este estudio también identifica los principales factores que influyen en la calidad de los datos de observación de la Tierra y propone las mejores prácticas específicas para el seguimiento de los ecosistemas de manglares. Además, desarrollamos la herramienta «algoritmo de seguimiento automático del rebrote (ARMA)» y resumimos los indicadores funcionales (sucesión secundaria) por tipo. ARMA puede identificar los años de plantation, el periodo de recuperación, la edad y el desarrollo estructural de los manglares rehabilitados en comparación con los manglares naturales adyacentes y los regenerados naturalmente. Creemos que nuestro estudio hace una contribución significativa a la investigación de la biodiversidad de los manglares, ya que tiene varias aplicaciones potenciales para la planificación de la gestión de la restauración, y por lo tanto será una herramienta útil para medir y evaluar la biodiversidad y por lo tanto mejorar la gestión de los bosques de manglares basada en el ecosistema.

**Palabras clave:** Provincia de Trat, diversidad de especies de manglares en Tailandia, algoritmo de seguimiento automático del rebrote, compuestos anuales Landsat, manglares rehabilitados, Google Earth Engine, inventarios sistemáticos de campo, influencia de las mareas, restauración de ecosistemas, Tailandia.

Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2022.353.a36999>Droit d'auteur © 2022, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad  
Date de publication : 1<sup>er</sup> septembre 2022Licence Creative Commons :  
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.  
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)



**Figure 1.** The general framework of decision-support-system for monitoring various ecological, species diversity, and management aspects of mangrove forestry.

**Figure 1.** Représentation schématique du système d'aide à la décision pour le suivi de la diversité écologique et spécifique et la gestion forestière des mangroves.

**Figura 1.** Marco general del sistema de apoyo a la toma de decisiones para el seguimiento de diversos aspectos ecológicos, de diversidad de especies y de gestión silvícola de los manglares.



**Photo 1. a.** The mangrove forest along the canal in Trat province of Thailand.

**b.** Mangrove tree species and structural diversity measurement survey during 2017-2021.

**Photo 1. a.** La forêt de mangrove le long du canal dans la province de Trat en Thaïlande.

**b.** Campagne de mesure de la diversité structurale et des espèces d'arbres de mangrove au cours de 2017-2021.

**Foto 1. a.** El bosque de manglares a lo largo del canal en la provincia de Trat, Tailandia.

**b.** Campaña de medición de la diversidad estructural y de especies de los manglares durante 2017-2021.

## References

- Pimple U., Leadprathom K., Simonetti D., Sitthi A., Peters R., Berger U., Siri-on K., Kemachevahull P., Gond V., 2022. Assessing mangrove species diversity, zonation and functional indicators in response to natural, regenerated, and rehabilitated succession, *Journal of Environmental Management*, 318: 115507. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115507>
- Pimple U., 2020. Dataset on plot inventories of species diversity and structural parameters of natural and rehabilitated mangrove forest in the Trat Province of Thailand. *Data in Brief*, 30: 105500. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105500>
- Pimple U., Simonetti D., Hinks I., Oszward J., Berger U., Pungkul S., Leadprathom K., Pravinongvuthi T., Maprasoap P., Gond V., 2020. A history of the rehabilitation of mangroves and an assessment of their diversity and structure using Landsat annual composites (1987-2019) and transect plot inventories. *Forest Ecology and Management*, 462: 118007. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118007>
- Pimple U., Simonetti D., Sitthi A., Pungkul S., Leadprathom K., Skupek H., Som-ard J., Gond V., Towprayoon S., 2018. Google Earth Engine Based Three Decadal Landsat Imagery Analysis for Mapping of Mangrove Forests and Its Surroundings in the Trat Province of Thailand. *Journal of Computer and Communications*, 6: 247-264. doi: <https://doi.org/10.4236/jcc.2018.61025>

## Graduate and academic degree

Doctorat en Sciences de l'environnement

**University:** AgroParisTech, France

**Date of defense:** October 26, 2021

**Composition of the jury**

**Direction**

Valéry GOND (Directeur, CIRAD, France)

Uta BERGER (Co-Encadrante, Technische Universität Dresden, Germany)

**Members**

Samuel CORGNE (Président, Université Rennes 2, France)

Frédéric ACHARD (Rapporteur & Examinateur, Joint Research Center, Italy)

Catherine LOVELOCK (Rapporteur & Examinateur, The University of Queensland, Australia)

Julie BETBEDER (Examinatrice, CIRAD, France)

Plinio SIST (Examinateur, CIRAD, France)

**Language used for writing:** English

**To access to the manuscript:**

<https://agritrop.cirad.fr/599749/>

**Funding:** This research was funded by the Southeast Asia-Europe Joint Funding Scheme for Research and Innovation (SEA-EU-NET), 2018-2021 as a part of a project entitled, "Monitoring and optimizing the design quality of mangrove restoration towards a sustainable coastal ecosystem management in Thailand and Mekong delta of Vietnam" [Project code : Thailand (NSTDA): P-18-51184; France (ANR): 17-ASIE-0003-01; Germany (BMBF): 01DQ18004].

**Contact**

The Joint Graduate School of Energy and Environment,

King Mongkut's University of Technology Thonburi,

126 Prachauthit Rd, Bangmod, Tungkrui, Bangkok, Thailand 10140

[upimple@gmail.com](mailto:upimple@gmail.com), [uday.pim@kmutt.ac.th](mailto:uday.pim@kmutt.ac.th)

<https://www.jgsee.kmutt.ac.th/v3/personnel/mr-uday-pimple/>



## ÉCOLE FRANÇAISE D'AGROFORESTERIE

### **L'École française d'agroforesterie**

Une agriculture fertile « du sol au paysage »... Nos campagnes et nos agriculteurs en ont bien besoin. L'agroforesterie se développe aujourd'hui pour répondre à ce vaste chantier collectif, à son rythme. Comme un arbre qui, depuis le semis, met en place chacune de ses branches, de ses racines, de ses feuilles...

La demande et le besoin agroforestiers n'ont jamais été aussi pressants. On ne peut pas tirer une plante par la feuille pour la faire pousser... Mais on peut lui fournir les meilleures conditions pour qu'elle se déploie et s'épanouisse. C'est tout le sens de l'École française d'agroforesterie (EFA) : être un lieu d'apprentissage et d'élaboration collective, ouvert au plus grand nombre.

### **Transmettre, former, transformer**

Les premières graines sont semées, et nous sommes déjà nombreux à y travailler quotidiennement, à faire prospérer l'ambition commune d'un changement d'échelle de la connaissance agroforestière. La vision que porte cette école, c'est celle d'une agroforesterie coopérative, concrète et innovante.

L'objectif : une école qui répond aux besoins du secteur, des acteurs de l'agriculture durable, de la gestion des ressources naturelles et des agriculteurs.

### **Associer, pour faire bouger les lignes**

Projet pionnier, cette école s'engage pour l'avenir de l'agriculture française. L'Association française d'agroforesterie coordonne sa mise en œuvre, en collaboration avec un ensemble de partenaires techniques, scientifiques et financiers, dont la liste continue de s'étoffer.

[efa.agroforesterie.fr](http://efa.agroforesterie.fr)





# 2022 IUFRO / FTMB CONFERENCE

## The 20<sup>th</sup> IUFRO Tree Biotech & the 2<sup>nd</sup> Forest Tree Molecular Biology and Biotechnology Conference

July 7-9, 2022



NC STATE  
UNIVERSITY

College of  
Natural Resources

## Proceedings

### The 2022 IUFRO / Forest Tree Molecular Biology and Biotechnology Conference

The 20<sup>th</sup> IUFRO Tree Biotech and the 2<sup>nd</sup> FTMB (Forest Tree Molecular Biology and Biotechnology) Conference will be held in Harbin, China, from July 7<sup>th</sup> to 9<sup>th</sup>, 2022. Due to the ongoing COVID-19 pandemic, the conference will be held online. Thanks to tremendous support from the organizing institutes and conference sponsors, we are pleased to offer “FREE” registration for all participants attending the virtual conference. The topics of this conference include forest adaptation to climate change, tree genomes and epigenomes, wood biology and uses, genomic variation in breeding and genetic studies, and regulations and biosafety of GMOs. On behalf of the organizers, we warmly invite you or anyone interested in the area of forest tree biotechnology and molecular biology to participate in this exciting conference.

The IUFRO Tree Biotechnology Conference is the premier biennial international event that focuses on molecular biology, genetics, genomics, and propagation technologies of forest trees – in short, Tree Biotechnology! Now in its 37<sup>th</sup> year, the 2022 meeting (7<sup>th</sup> - 9<sup>th</sup> July, Harbin, China) will be an opportunity for the international researchers in forest tree biotechnology to communicate new research methods, research progress, and ways in which discoveries can be used to help forests adjust this changing world.

The 2<sup>nd</sup> International Symposium on Forest Tree Molecular Biology and Biotechnology (FTMB) will highlight the latest findings and breakthroughs in tree biotechnology and is dedicated to gathering scientists from across the globe to present and discuss research on genomics, epigenetics, biochemistry, and other relevant topics. This symposium is hosted by the Northeast Forestry University and was held for the first time in July 2018 in Harbin, China, where 382 delegates from 12 countries attended the symposium.

#### To download:

<https://www.iufro.org/fileadmin/material/publications/proceedings-archive/20406-treebiotech-harbin22-abstracts.pdf>





# International Research Group on Wood Protection IRG 54 Annual Meeting



**The IRG54 meeting of the International Research Group on Wood Protection will be held on 28th May – 1st June 2023 at the Pullman Hotel in Cairns, Queensland in Australia.**

It is going to be a great venue and a fabulous meeting, so please start planning now to join us!

The International Research Group on Wood Protection (IRGWP) is the leading global organization for the dissemination of scientific information on wood protection products.

All the information about the IRG 54 conference is available on the conference website:

<https://www.irg-wp.com/IRG54/index.html>

#### **Topics and special scientific sessions**

The usual topics of the IRG54 conference Australia will be focused on Biology, Test Methodology and Assessment, Wood Protecting Chemicals, Processes and Properties, Sustainability & Environment.

In addition, IRG54 will organize this year two special scientific sessions about «Tropical woods: Natural and conferred durability» and «Termites: Biology and Management».

For either of the Special Sessions, please find more details on the conference website, and contact the IRG Secretariat directly to express your interest, and/or to submit your paper, indicating your wish to participate in the Special Sessions.

#### **Ron Cockcroft Award (RCA)**

The IRG54 conference in Australia is reaching out beyond the research and industry community who attend on a regular basis, and beyond our historical scope of wood preservation. Young scientists, in particular, are encouraged to participate.

The RCA is a merit-based program to promote international awareness of developments in research in wood protection, by assisting selected persons enabling them to participate in IRG conferences. The RCA is intended primarily to assist post-graduate research students and active younger scientists, who, for financial reasons might otherwise be unable to attend an IRG conference.

Application Form for RCA could be downloaded with the following internet link:

[https://www.irg-wp.com/documents/IRG-Procedures-Manual/IRG\\_21-60177F.pdf](https://www.irg-wp.com/documents/IRG-Procedures-Manual/IRG_21-60177F.pdf)

#### **Deadlines for IRG54**

December 15, 2022

Submission of RCA applications for IRG54.

March 1, 2023

Submission of Papers to IRG Secretariat.

April 1, 2023

Submission of Poster Abstracts to IRG Secretariat.

May 1, 2023

IRG54 Registration without late payment penalty.





Colloque

# Santé des écosystèmes forestiers : enjeux de société

21-22 mars 2023 – Muséum national d'Histoire naturelle, Paris France

Le GIP Ecofor (Groupement d'intérêt public Écosystèmes forestiers) et ses partenaires ont le plaisir de vous annoncer l'organisation du colloque scientifique « Santé des écosystèmes forestiers : enjeux de société » les 21 et 22 mars 2023 au Muséum national d'Histoire naturelle, Jardin des Plantes de Paris, en France. Cet événement s'inscrit dans le thème « Forêts et Santé » de la Journée internationale des Forêts 2023. Il fait suite à la journée d'étude « Écosystèmes forestiers » organisée le 11 mars 2022 par le Muséum national d'Histoire naturelle et le GIP Ecofor, qui a montré la richesse des recherches des enseignants-chercheurs du MNHN sur les socio-écosystèmes forestiers.

**Un appel à communications scientifiques sera publié à l'automne 2022.**

## Comité d'organisation

Pierre-Michel Forget (MNHN), Maya Leroy (AgroParisTech et GIP Ecofor), Pascal Marty (Maison française d'Oxford et GIP Ecofor), Serge Muller (MNHN), Nicolas Picard (GIP Ecofor), Margareta Tengberg (MNHN), Florence Le Vu (MNHN).

[www.gip-ecofor.org](http://www.gip-ecofor.org)

