



# Bois & forêts

des  
tropiques

4<sup>e</sup> trimestre 2017  
n° 334



Revue éditée par le Cirad  
n° 334 / 4<sup>e</sup> trimestre 2017

### Rédacteur en chef

Jacques Tassin

### Coordination éditoriale

Jean-François Trébuchon

### Comité éditorial 2017

Nadine Amusant (Guyane)

Seheno Andriantsaralaza  
(Madagascar)

Marie-Louise Avana-Tientcheu  
(Cameroun)

Belem Bassirou (Burkina Faso)

Stéphanie Carrière (France)

Marra Dourma (Togo)

Isabel Drigo (Brésil)

Adeline Fayolle (Belgique)

Antoine Galiana (France)

Jean Gérard (France)

Valéry Gond (France)

Jean-Michel Harmand (France)

Christian Kull (Suisse)

Anne Mette Lykke (Danemark)

Remy Marchal (France)

Momar Mbaye (Sénégal)

Hichem Rejeb (Tunisie)

Franck Richard (France)

Plinio Sist (France)

Adolphe Zeze (Côte d'Ivoire)

### Graphiste

Jean-Jacques Gonod

### Correcteur

Jacques Bodichon

### Traducteurs

Peter Biggins

Ilona Bossanyi

Luis Carvajal

### Service de presse

Sylvie Vago

Laurence Campas

### Webmestre

Christian Sahut

### Directeur de publication

Michel Eddi

### Relecteurs ayant contribué à l'évaluation des articles en 2017/

#### *Reviewers who have contributed to the evaluation of articles in 2017*

Katharine Abernethy, Maliheh Akhtari, Nadine Amusant, Michel Arbonnier, Wouyou Atakpama, Kudzo Atsu Guelly, Hans Beeckman, Ilham Bentaleb, Patrice Bigombe Logo, Lillian Blanc, Manuel Boissière, Clément Bourgoïn, Stéphanie Carrière, Matjaz Cater, Gilles Chaix, Kasso Dainou, Iro Dan Guimbo, Gilles Dauby, Claudio Delang, Philippe Deleporte, Dominique Dessauw, Marra Dourma, Adeline Fayolle, Anabel Ford, Mathieu Fortin, Azihou Fortuné, Jean Gérard, Aida Golpayegani, Valéry Gond, Frédéric Guibal, Jean-Michel Harmand, Reza Hosseinpourpia, Kouami Kokou, Patrick Langbour, Sébastien Le Bel, Judicaël Lebamba, François Lebourgeois, Valentine Lebourgeois, Guillaume Lescuyer, Dominique Louppe, Nicola Macchioni, Roya Majidi, William Mala, Jean Maley, Bernard Mallet, Momar Mbaye, Frédéric Mothe, Daniel Mousain, Blandine Nacoulma, Jiří Novák, Jérôme Perin, Zbyněk Polesný, Hossein Rangavar, Franck Richard, Bernard Riera, Jean-Noël Rivière, Vivien Rossi, Olivier Rounsard, Julien Ruelle, Badr Satrani, Marco Schmidt, Chantal Shalukoma, Laura Snook, Hamid Reza Taghiyari, Jacques Tassin, R. C. Sundriyal, Annick Tahiri, Bernard Thibaut, Philippe Vaast, Yurdi Yasmini, Adolphe Zeze.

### Accès gratuit aux articles

en **version électronique** sur le site web :

[bft.cirad.fr](http://bft.cirad.fr)

© Bois et forêts des tropiques

ISSN 0006-579X

Dépôt légal : décembre 2017

283997X - Imprimé en France par Jouve S.A.

11, boulevard Sébastopol, BP 2734

75027 Paris Cedex 01, France

Maquette : J.-J. Gonod, Montpellier

Numéro d'inscription à la CPPP : 59465

Directeur gérant : Michel Eddi

### 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 : [bft.cirad.fr](http://bft.cirad.fr)



Gousse et graines d'*Azelia bipindensis*  
récoltées à Mayumba au Gabon.  
Photo S. A. L. Donkpegan.

### Conditions de publication

Consulter les instructions aux auteurs qui figurent sur le site web : [bft.cirad.fr](http://bft.cirad.fr)

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, pas de modification (CC BY-ND).

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.

## ÉDITORIAL

- Les concessions d'exploitation forestière menacent-elles les tourbières en République démocratique du Congo ?** 3  
S. GOURLET-FLEURY *et al.*

## LE POINT SUR...

- Effets de différentes charges de nanoargile sur les propriétés physiques et mécaniques de panneaux de particules en bois de *Melia composita*** 7  
N. ISMITA, C. LOKESH

- Impact de l'ombrage sur le microclimat d'une plantation de café : étude de cas en Amazonie péruvienne** 13  
L. EHRENBERGEROVÁ, M. ŠENFELDR, H. HABROVÁ

- Production d'*Acacia auriculiformis* dans le système agroforestier de Mampu, plateau Batéké, République démocratique du Congo** 23  
P. PROCES, É. DUBIEZ, F. BISIAUX, A. PÉROCHES, A. FAYOLLE

- Production de plants d'arganier (*Argania spinosa*) au Maroc : choix du conteneur et du substrat** 37  
A. FERRADOUS, M. HAFIDI, M. ALIFRIQUI, A. OUHAMMOU

- Différence entre les générations et groupes ethniques des connaissances traditionnelles et de l'importance culturelle de *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause en savane soudanienne au Bénin** 49  
E. O. A. GOUDÉGNON, F. G. VODOUHÉ, G. N. GOUWAKINNOU, V. K. SALAKO, M. OUMOROU

- Qualité et usages du bois de cinq espèces forestières adaptées à la plantation à vocation de bois d'œuvre et testées en Guyane française** 61  
H. MOREL, E. NICOLINI, J. BOSSU, L. BLANC, J. BEAUCHÊNE

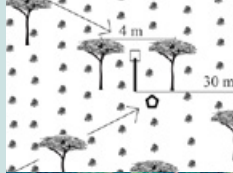
## THÈSES

- Déterminants de la structure des communautés fongiques dans les forêts de Corse : rôle des perturbations et de la composition forestière** 75  
A. TAUDIÈRE

- Histoire évolutive du complexe *Afzelia* Smith (Leguminosae - Caesalpinioideae) dans les écosystèmes forestiers et savanicoles d'Afrique tropicale** 77  
S. A. L. DONKPEGAN

## VOS LECTURES

- 48 – 60 – 79 – 80  
**The charcoal transition: Greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods** 81  
FAO  
**Unasylva, n° 247/248, XIV<sup>e</sup> Congrès forestier mondial** 82  
FAO





## EDITORIAL

- Are logging concessions a threat to the peatlands in DRC?** 3  
S. GOURLET-FLEURY *et al.*

## FOCUS ON...

- Effects of different nanoclay loadings on the physical and mechanical properties of *Melia composita* particle board** 7  
N. ISMITA, LOKESH CHAVAN

- Impact of tree shading on the microclimate of a coffee plantation: a case study from the Peruvian Amazon** 13  
L. EHRENBERGEROVÁ, M. ŠENFELDR, H. HABROVÁ

- Acacia auriculiformis* production in the Mampu agroforestry zone on the Batéké Plateau, Democratic Republic of Congo** 23  
P. PROCES, É. DUBIEZ, F. BISIAUX, A. PÉROCHES, A. FAYOLLE

- Production of *Argania spinosa* seedlings in Morocco: choosing the right container and substrate** 37  
A. FERRADOUS, M. HAFIDI, M. ALIFRIQUI, A. OUHAMMOU

- Ethnic and generational differences in traditional knowledge and cultural importance of *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause in Benin's Sudanian savannah** 49  
E. O. A. GOUDÉGNON, F. G. VODOUHÊ, G. N. GOUWAKINNOU, V. K. SALAKO, M. OUMOROU

- Quality and uses of timber from five forest species suited to plantation management and tested in French Guiana** 61  
H. MOREL, E. NICOLINI, J. BOSSU, L. BLANC, J. BEAUCHÊNE

## PH.D. THESIS

- Drivers of fungal community composition in Corsican forests: role of perturbations and vegetation composition** 75  
A. TAUDIÈRE

- Evolutionary history of *Afzelia* Smith (Leguminosae - Caesalpinioideae) complex in forest and savannah ecosystems of Tropical Africa** 77  
S. A. L. DONKPEGAN

## BOOK REVIEW

48 – 60 – 79 – 80

- The charcoal transition: Greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods** 81  
FAO

- Unasylva, n° 247/248, XIV<sup>e</sup> Congrès forestier mondial** 82  
FAO

Pour ce numéro, Bois et Forêts des Tropiques a ouvert la page de son éditorial à l'expression d'une opinion<sup>1</sup>.

# Les concessions d'exploitation forestière menacent-elles les tourbières en République démocratique du Congo ?

## Signataires / Signatories

Gourlet-Fleury S. (Cirad), Gazull L. (Cirad), Bigombe Logo P. (Université de Yaoundé II et Fondation Paul Ango Ela), Billand A. (Cirad), Bolaluembe P.-C. (Université de Kinshasa), Boyemba F. (Université de Kisangani), Dessard H. (Cirad), Doucet J.-L. (Université de Liège), Doumenge C. (Cirad), Dubiez E. (Cirad), Durrieu de Madron L. (expert indépendant), Feintrenie L. (Cirad), Fomete T. (Rainbow Consulting), Garcia C. (Cirad), Gillet J.-F. (Université de Liège), Hérault B. (Cirad), Karsenty A. (Cirad), Menga P. (Université de Kisangani), Ngoya Kessy A. M. (Université Marien Ngouabi), Pietsch S. (IIASA), Putz J. (Université de Floride), Rossi V. (Cirad), Sayer J. (Université James Cook), Sist P. (Cirad), Zongang Ngongang A. A. (Université du Maine).

Traduction : P. Biggins (Cirad).

Dans une lettre cosignée par 30 chercheurs et publiquement adressée au ministère norvégien du Climat et de l'Environnement, le Pr Simon Lewis (University of Leeds) et ses collègues dénoncent l'impact potentiellement négatif de l'exploitation forestière sur les vastes marécages de la cuvette congolaise, abritant en partie des tourbières. Cette lettre demande à la Norvège de refuser le financement du programme de gestion durable des forêts de République démocratique du Congo (RDC) soumis en 2017 par l'Agence française de développement (AFD). Ce programme vise à relancer l'activité forestière légale, en net déclin dans le pays, et à soutenir une meilleure gestion des ressources forestières en appuyant les administrations forestières nationales et provinciales et en améliorant la gouvernance.

En RDC comme en République du Congo, la loi autorise l'inclusion de ces zones marécageuses dans les concessions attribuées aux compagnies forestières. Si cela est très rare en République du Congo, en RDC environ 4,5 millions d'hectares, soit 26 % des zones marécageuses du pays, sont entièrement ou partiellement couverts par une trentaine de concessions. Le reproche adressé en particulier à l'AFD est de ne pas avoir considéré les dégâts potentiels que l'exploitation des forêts dans ces concessions pourrait provoquer sur les tourbières. Il est justifié par une référence explicite aux dégâts causés par ce type d'exploitation sur les tourbières d'Indonésie.

En tant que scientifiques nous reconnaissons la qualité du travail du Pr Lewis et de ses collègues et nous sommes conscients de la nécessité de protéger les tourbières d'Afrique centrale. En revanche, nous discutons, sur le fond et sur la forme, la méthode utilisée par ces chercheurs pour y parvenir.

## Protéger les tourbières a du sens, dans un contexte de changement climatique

Le bassin du Congo renferme l'une des plus vastes étendues de zones marécageuses de la planète. Ces zones marécageuses, inondées en permanence ou périodiquement, et en bonne partie couvertes par des forêts, s'étendent sur environ 26 millions d'hectares, cartographiés en 2014 par Betbeder et ses collègues. Un article paru dans la revue *Nature* (Dargie *et al.*, 2017) vient de confirmer l'existence de tourbières sous 14,5 millions d'hectares, estimés comme inondés en permanence.

Il est admis par tous que les tourbières stockent une très grande quantité de carbone dans leur sol. La dégradation de ces tourbières, sous l'effet conjugué de la déforestation et du drainage qui les assèche, entraîne des émissions massives de gaz carbonique dans l'atmosphère. Cet assèchement augmente par ailleurs considérablement les risques d'incendie, autre facteur d'émission de gaz carbonique. Assèchement et incendie sont renforcés par le changement climatique qui, en Afrique centrale, risque de provoquer une augmentation de la durée des saisons sèches et une hausse de la température. Éviter les activités qui présenteraient un risque d'assèchement de ces tourbières est donc stratégique.

## L'exploitation forestière peut représenter un risque pour les tourbières

Le risque que fait courir l'exploitation légale dans les forêts couvrant en partie des zones marécageuses n'est pas le prélèvement des arbres en lui-même (en moyenne un arbre par hectare) mais le tracé des pistes permettant d'y accéder. Le réseau de pistes peut empiéter sur les marécages : il faut les traverser pour accéder aux zones exploitables de terre ferme. Traverser les marécages nécessite une ouverture de la forêt, entraîne le tassement de la tourbe, ce qui demande l'apport de grandes quantités de terre et de sable, et provoque une perturbation du réseau naturel d'écoulement de l'eau. Par ailleurs, lorsque l'accès aux pistes n'est pas bien contrôlé, d'autres activités peuvent se développer au sein des concessions, comme l'agriculture sur brûlis et l'exploitation illégale de bois d'œuvre, augmentant les risques de dégradation.

Ce risque est renforcé par le manque de respect de la loi par les exploitants forestiers. En particulier, certaines espèces de valeur recherchées poussent dans les zones périodiquement inondées et sont exploitées, et les autorisations annuelles de coupe de bois à prélever ne sont pas toujours suivies.

<sup>1</sup> Les opinions émises par les auteurs n'engagent pas la responsabilité de l'équipe éditoriale du journal.

Cependant, faire l'hypothèse que l'exploitation dans les concessions forestières de RDC peut conduire à l'assèchement des tourbières comme cela s'est produit en Indonésie est peu vraisemblable dans le contexte de ce pays.

### La situation de la RDC n'est pas celle de l'Indonésie

En Indonésie, la dégradation des tourbières a surtout été provoquée par leur conversion en terres agricoles et par la mise en place de grandes plantations pour l'industrie papetière, parfois après exploitation des forêts naturelles. Ces conversions, encouragées par l'État indonésien dans le cadre de sa politique de colonisation agricole, ont nécessité de lourds travaux de drainage et d'aménagement hydraulique pour rendre ces zones exploitables par les populations humaines. Les échecs ont été nombreux et le désastre écologique patent dans beaucoup d'endroits. L'exploitation forestière elle-même a rarement nécessité le drainage des tourbières, sauf près des rivières et dans certaines zones côtières où des canaux ont pu être tracés pour évacuer les grumes.

En RDC, les zones marécageuses de la cuvette congolaise ne font pas l'objet d'un plan de colonisation agricole, notamment pour des cultures de rente pratiquées à l'échelle industrielle, et ne présentent pas de front pionnier agricole spontané. En effet, la RDC (comme la République du Congo) dispose encore de réserves foncières importantes sur des sols bien propices à l'agriculture.

L'exploitation au sein des concessions forestières doit se faire dans le cadre de plans d'aménagement aujourd'hui déjà validés dans une dizaine d'entre elles par l'État congolais. Même si parfois insuffisamment suivis, ces plans visent à garantir un impact limité sur la forêt et le respect des zones marécageuses. Conformément à une obligation légale inscrite dans la plupart des codes forestiers d'Afrique centrale, les marécages sont intégrés dans une zone protégée de la concession, appelée « la série de protection ». C'est le cas en RDC, dans le texte réglementaire en vigueur depuis 2007 et en cours de révision.

Si les situations diffèrent entre ces deux pays, l'exploitation dans les concessions en grande partie couvertes par des marécages, encore très peu pratiquée aujourd'hui, reste une opération à risque qui suppose le strict respect des règles d'aménagement.

### S'adresser au partenariat que représente l'Initiative pour les forêts d'Afrique centrale (CAFI) nous paraît la démarche la plus constructive

L'Initiative pour les forêts d'Afrique centrale (CAFI) est un partenariat collaboratif unique qui s'est mis en place en 2015 entre plusieurs pays et plusieurs bailleurs de fonds dont la Norvège, qui en assure actuellement la présidence. Ce partenariat a pour objectif de décider et de coordonner l'allocation de ressources soutenant des actions qui limitent la déforestation et la dégradation des forêts. S'adresser au secrétariat du CAFI aurait été plus approprié que s'adresser au ministre norvégien du Climat et de l'Environnement, sans référence au CAFI.

Par ailleurs, ces structures n'ont ni le pouvoir ni la légitimité de décider des politiques de gestion ou de protection des forêts en Afrique centrale. Ces dernières sont avant tout du ressort des États africains eux-mêmes. Dans ce domaine, l'État congolais a déjà montré que les zones marécageuses représentaient une de ses priorités environnementales en définissant des normes de gestion et d'exploitation garantissant leur respect. Un « Observateur indépendant », institution congolaise dont le rôle est de contribuer à l'application des lois et des principes de bonne gouvernance dans les activités forestières, a été mis en place. Enfin, dernièrement, s'appuyant sur l'article de Dargie et ses coauteurs (2017), une « Unité de gestion des tourbières » visant à mieux définir les zones de tourbières, à les suivre et à en contrôler les usages a été créée.

Toutes ces actions doivent être prises en compte, encouragées et accompagnées dans les projets financés par le fonds CAFI. Le projet de l'AFD devrait intégrer, dans ses activités, des études d'impact spécifiques *ex ante* et *ex post* rigoureuses dans les concessions déjà aménagées et contenant des marécages. Ces études devraient se concentrer, en particulier, sur l'impact des pistes reliant les terres fermes sur le fonctionnement des peuplements forestiers présents dans ces marécages. Le projet devrait également lancer une concertation approfondie, basée sur ces études d'impact et l'avis de scientifiques, pour qu'une décision mûrement réfléchie soit prise dans le plan d'affectation des terres boisées de la RDC qui a été lancé récemment. Il reviendra à ce plan de déterminer quels espaces de la cuvette congolaise doivent être préservés de toute exploitation forestière, du développement de plantations agro-industrielles et d'activités extractives. Des analyses prospectives devront être menées pour évaluer l'efficacité sur le long terme des différentes alternatives offertes au gouvernement et aux populations congolaises pour préserver ces zones humides et limiter l'impact sur le climat.

Les références scientifiques manquent dans cette région du monde et en particulier dans la cuvette congolaise. La nature des tourbières, leur localisation, les dynamiques naturelles et anthropiques, les normes et les actions permettant de limiter les impacts humains y sont encore très mal connues. La communauté scientifique souhaite faire progresser ces connaissances et aider l'État congolais à mieux gérer sa ressource forestière dans un objectif de développement durable et de préservation de ses écosystèmes. Bloquer des projets, comme celui proposé par l'AFD, plutôt qu'entamer des discussions avec ceux qui les proposent pour en améliorer le contenu, revient à priver les acteurs régionaux du soutien dont ils ont besoin pour choisir et maîtriser le devenir de ces écosystèmes d'importance locale et globale.

Nous sommes en accord avec la nécessité de préserver les tourbières, et les zones marécageuses en général, de toute activité économique qui entraînerait des dégâts écologiques susceptibles de contribuer au changement climatique. Mais nous pensons que notre rôle de scientifiques est avant tout d'éclairer et d'accompagner la collaboration entre les États, les collectivités et communautés locales, les bailleurs de fonds, les ONG et les sociétés forestières pour orienter une gestion concertée des territoires.

For this issue, Bois et Forêts des Tropiques opened its editorial page of the expression of opinion<sup>1</sup>.

## Are logging concessions a threat to the peatlands in DRC?

Sylvie Gourlet-Fleury *et al.*

In a letter jointly signed by 30 researchers and addressed publically to the Norwegian Ministry of Climate and Environment, Professor Simon Lewis (University of Leeds) and his colleagues denounced the potentially negative impact of logging in the vast swamplands of the Congolese Cuvette, which partly comprises peatlands. The letter requested that Norway refuse to fund a programme for sustainable forest management in the Democratic Republic of Congo (DRC) submitted by *Agence Française de Développement* (AFD) in 2017. The purpose of this programme is to revive legal logging, which is in sharp decline in the country, and to back better management of forest resources by providing support to the national and provincial forestry boards, and by improving governance.

In DRC, as in the Republic of Congo, the law authorizes the inclusion of these swamplands in the concessions granted to logging companies. While quite rare in the Republic of Congo, in DRC around 4.5 million hectares, i.e. 26% of the swamplands in the country, are entirely or partially covered by thirty or so concessions.

The main criticism made against AFD is that it has not considered the potential damage that logging in these concessions could cause in the peatlands. That criticism was justified by explicitly referring to the damage caused by this type of operation in the peatlands of Indonesia.

As scientists, we recognize the quality of the work done by Pr. Lewis and his colleagues and we are aware of the need to protect the peatlands of the Congolese Cuvette. However, we do question, in both substance and form, the arguments put forward by the team of researchers in its letter on how to achieve it.

### Protecting peatlands makes sense in a context of climate change

The Congo Basin is home to one of the vastest wetlands on the planet. These permanently or periodically waterlogged swamplands, largely covered by forests, extend over around 26 million hectares, mapped in 2014 by Betbeder and colleagues. A paper published in the journal *Nature* (Dargie *et al.*, 2017) recently confirmed the existence of peatlands under 14.5 million hectares, estimated to be permanently waterlogged.

It is recognized by all that peatlands store a very large amount of carbon in their soil. Damage to peatlands under the combined effect of deforestation and drainage leads



Forêt marécageuse, parc national de l'Ivindo (Gabon).  
Swamp forest, Ivindo National Park (Gabon).  
Photo C. Doumenge.

to massive CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere; most of this gas comes from the decomposition of the peat in the drained zone above the water table. This drying out of peatlands, notably in a context of climate change causing periods of drought that are more intense during El Niño events, also considerably increases the risk of fire, another factor in CO<sub>2</sub> emissions. Avoiding activities that might entail a risk of drying out these peatlands is therefore strategic.

### Logging may be a risk for peatlands

The risk involved in legal logging in the forests covering part of the swamplands is not the actual removal of the trees (involving one tree/ha on average), but the opening up of access tracks. The track network may encroach upon the swamplands: they have to be crossed to gain access to the loggable areas on stable ground. Crossing swamplands necessitates a clearing in the forest, and involve the compaction of the peat requiring the addition of large quantities of soil and sand and a disruption of the natural water drainage network. In addition, when access to the tracks is not effectively controlled, other activities may develop inside the concessions, such as slash and burn agriculture and illegal timber logging, increasing the risk of degradation.

Loggers not respecting the law heighten that risk. In particular, some sought-after valuable species growing in periodically waterlogged areas are logged, and the annual logging authorizations fixing a maximum volume of wood to be removed are not always heeded.

However, the hypothesis whereby the drying out of peatlands could be brought about in DRC by logging in the forest concessions, as has occurred in Indonesia, is unlikely given the context in that country.

<sup>1</sup> The opinions expressed by the authors do not engage the responsibility of the editorial team.

### However, the situation in DRC is not the same as in Indonesia

In Indonesia, the main cause of peatland degradation is the conversion to farmland and the creation of large-scale plantations for the paper industry, sometimes after logging of the natural forests. Such conversions, which were encouraged by the State as part of its agricultural colonization policy, required substantial drainage and water management work to make the zones usable for the human populations. There have been numerous failures and the ecological disaster is obvious in many places. Logging itself has rarely needed peatland drainage, except near rivers and in certain coastal areas where canals have been constructed to take out logs.

In DRC, the swamplands of the Congolese Cuvette are not earmarked for an agricultural colonization plan, especially for cash crops grown on an industrial scale, and they have no spontaneous forest/agriculture transition zone. Indeed DRC (like the Republic of Congo) still has substantial land reserves on soils that are much more suitable for farming.

Logging in the forest concessions has to be carried out in compliance with management plans that have already been validated to date in around ten of them by the Congolese State. Even though these plans are sometimes insufficiently followed, they seek to guarantee that there is limited impact on the forest and that swamplands are respected. In compliance with a legal obligation found in most of the forestry codes of central Africa, swamplands are incorporated into a protected area of the concession called the “protection series”. This is the case in DRC, in a regulatory text in force since 2007 which is currently being reviewed.

Even though the situations clearly differ between these two countries, logging in concessions largely covered by swamplands, which is still rarely the case today, is an operation with risks and it is strictly necessary to respect the management rules.

### We believe that directly speaking with the Central African Forest Initiative (CAFI) is a more constructive approach

The Central African Forest Initiative (CAFI) is a unique collaborative partnership established between several countries and donor organizations including Norway, which currently holds the presidency. The purpose of this partnership is to decide upon and coordinate the attribution of resources from a trust fund (CAFI fund) supporting actions that limit deforestation and forest degradation. Speaking with the secretariat of CAFI would have been more appropriate than speaking with the Norwegian Ministry of Climate and Environment, without referring to CAFI.

Moreover, these organizations have neither the power nor the legitimacy to decide forest management or protection policies in central Africa. Such policies are, above all, the prerogative of the African States themselves. In this respect, the Congolese State already showed that the swamplands were one of its environmental priorities when it defined management and exploitation standards guaranteeing that they are respected. An “Independent

Observer”, a Congolese institution tasked with helping to apply the laws and principles of good governance in forestry activities, has been appointed. Lastly, according to the article by Dargie and co-authors (2017), a “Peatland Management Unit” has recently been set up designed to more effectively define peatland zones and control their use.

All these actions need to be taken into account, encouraged and assisted in projects financed by the CAFI fund. As part of its activities, the AFD project should integrate strict *a priori* and *a posteriori* impact studies in already managed forest concessions covering swamplands. These studies should particularly focus on how the track network linking *terra firma* forests affects the functioning of these swamplands. The project should also launch an in-depth consultation, based on impact studies and scientific advice, so that an informed decision can be taken for DRC’s forest land use plan. It will be the task of this plan to determine which areas of the Congo Basin in this country must be preserved from any forest logging, development of agribusiness, or extraction activities. Foresight analyses will have to be carried out to evaluate the long-term efficiency of the various alternatives that are available to the government and the Congolese populations to preserve these swamplands and limit climate change.

Scientific evidence is lacking in this region of the world, particularly in the Congolese Cuvette. The nature of the peatlands, their location, the natural and anthropogenic dynamics, and the standards and actions helping to limit human impacts there remain largely unknown. The scientific world wishes to enhance that knowledge and help the Congolese State to more effectively manage its forest resource with a view to sustainably developing and preserving these ecosystems. Blocking projects, such as the one proposed by AFD, rather than entering into discussions with the people who are proposing them, amounts to depriving regional stakeholders of the support they need to choose and control what becomes of these ecosystems of local and global importance.

We agree with the need to protect peatlands and swamplands in general from any economic activity that would lead to ecological damage likely to contribute to climate change. However, we feel it is above all our role, as scientists, to enlighten and assist collaboration between States, local and wider communities, donors, NGOs and logging companies to provide guidance for concerted territorial management.

### Références / References

Betbeder J., Gond V., Frappart F., *et al.*, 2014. Mapping of Central Africa Forested Wetlands Using Remote Sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7 (2): 531-542.  
Dargie G. C., Lewis S. L., Lawson I. T., *et al.*, 2017. Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex. *Nature*, 542 (7639): 86-90.



# Effects of different nanoclay loadings on the physical and mechanical properties of *Melia composita* particle board

N. ISMITA<sup>1</sup>  
Chavan LOKESH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Forest Research Institute  
Forest Products Division  
P.O. New Forest  
Dehradun-248006  
India



**Photo 1.**

Material use for the experience:

*Melia composita*: a. Tree; b. Flower and fruit; c. Bark; d. Leaf and flower.

e. Nanoclay: Cloisite Na<sup>+</sup>.

Photo (a, b, c, d) Rksrathore, Vijay, P. Grad. *Melia composita* Benth. [online] India Biodiversity Portal, Species Page: {name of species field},

Available at: <http://indiabiodiversity.org/species/show/261673> [Accessed date Sep 11, 2017].

Photo (e) N. Ismita.

**Auteur correspondant / Corresponding author:**

Sundriyal N. Ismita - [ismita@icfre.org](mailto:ismita@icfre.org)

## RÉSUMÉ

### EFFETS DE DIFFÉRENTES CHARGES DE NANOARGILE SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES DE PANNEAUX DE PARTICULES EN BOIS DE *MELIA COMPOSITA*

La présente étude a permis d'analyser les effets de l'ajout d'une charge de nanoparticules de Cloisite Na<sup>+</sup> (nanoargile) dans une résine d'urée-formaldéhyde utilisée dans la fabrication de panneaux de particules. La Cloisite Na<sup>+</sup> a été incorporée à 2 %, 4 % et 6 % de la masse sèche de résine. La densité, l'absorption d'eau (AE), le gonflement (G), les modules de rupture (MR) et d'élasticité (ME) et la résistance interne à l'arrachement (RI) ont été mesurés pour évaluer la performance des panneaux. Des améliorations significatives ont été constatées pour G, MR et ME avec de la Cloisite Na<sup>+</sup> incorporée dans la résine. Plus précisément, pour les échantillons au liant UF additionné de 6 % de nanoargile, les valeurs MR et ME augmentent respectivement de 34 % et de 65 % par rapport aux panneaux de référence.

**Mots-clés :** *Melia composita*, propriétés mécaniques, nanoargile, panneau de particules, propriétés physiques, urée-formaldéhyde.

## ABSTRACT

### EFFECTS OF DIFFERENT NANOCCLAY LOADINGS ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF *MELIA COMPOSITA* PARTICLE BOARD

This study investigated the effects of adding a filler of nano-sized particles of Cloisite Na<sup>+</sup> (nanoclay) to urea-formaldehyde resin on the physical and mechanical properties of particle boards made with this resin. Cloisite Na<sup>+</sup> was introduced at rates of 2%, 4% and 6% of the dry mass of the resin. Density, water absorption (WA), thickness swelling (TS), modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and internal bond strength (IB) were measured to evaluate the performance of the boards. Significant improvements were observed for TS, MOR and MOE when Cloisite Na<sup>+</sup> was added to the resin. More specifically, in samples bonded with UF resin and 6% nanoclay, 34% and 65% increases were observed in MOR and MOE respectively compared to the control boards.

**Keywords:** *Melia composita*, mechanical properties, nanoclay, particle board, physical properties, urea-formaldehyde.

## RESUMEN

### EFFECTOS DE DIFERENTES CARGAS DE NANOARCILLA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TABLEROS DE PARTÍCULAS DE MADERA DE *MELIA COMPOSITA*

Este estudio permitió analizar los efectos de la adición de una carga de nanopartículas de Cloisite Na<sup>+</sup> (nanoarcilla) en una resina de urea formaldehído (UF) empleada en la fabricación de tableros de partículas. Se incorporó Cloisite Na<sup>+</sup> en proporciones del 2%, 4% y 6% de la masa seca de la resina. Se evaluó el desempeño de los tableros midiendo la densidad, la absorción de agua (AA), el hinchamiento (H), los módulos de ruptura (MOR) y elasticidad (MOE) y la resistencia en cohesión interna (RI). Con la incorporación de Cloisite Na<sup>+</sup> en la resina, se observaron mejoras significativas en H, MOR y MOE. Más concretamente, en las muestras encoladas con UF y nanoarcilla al 6%, se observaron aumentos en MOR y MOE del 34% y 65%, respectivamente, con respecto a los tableros de referencia.

**Palabras clave:** *Melia composita*, propiedades mecánicas, nanoarcilla, tablero de partículas, propiedades físicas, urea formaldehído.

Lenka EHRENBGEROVÁ<sup>1</sup>  
Martin ŠENFELDR<sup>1</sup>  
Hana HABROVÁ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mendel University in Brno  
Department of Forest Botany,  
Dendrology and Geobiocoenology  
Zemědělská 3, Brno 61 300  
Czech Republic

# Impact of tree shading on the microclimate of a coffee plantation: a case study from the Peruvian Amazon



**Photo 1.**  
Shaded part of Ave Fénix plantation is shaded dominantly by species of genus *Inga* spp.  
Photo L. Ehrenbergerová.

**Auteur correspondant / Corresponding author:**  
Lenka Ehrenbergerová - [lenka.ehrenbergerova@mendelu.cz](mailto:lenka.ehrenbergerova@mendelu.cz)

## RÉSUMÉ

### IMPACT DE L'OMBRAGE SUR LE MICROCLIMAT D'UNE PLANTATION DE CAFÉ : ÉTUDE DE CAS EN AMAZONIE PÉRUVIENNE

L'agroforesterie est considérée comme l'une des stratégies agricoles pouvant contribuer à l'adaptation des cultures au changement climatique. La présente étude de cas visait à comparer les conditions microclimatiques d'une parcelle de *Coffea arabica* cultivée sous ombrage, principalement *Inga* spp., et celles d'une parcelle de *C. arabica* menée en monoculture sans ombrage dans la même plantation de café, dans la région de Pasco au Pérou. La température et l'humidité de l'air, la température du sol et la disponibilité en eau du sol ont été mesurées pendant trois ans. Les résultats indiquent que l'ombrage des arbres réduit la température moyenne de l'air de  $0,4 \pm 0,04$  °C et la température du sol de  $1,7 \pm 0,3$  °C, et augmente l'humidité de l'air de  $3,9 \pm 0,4$  % par rapport à la zone sans ombrage. Cependant, la moyenne mensuelle des températures de l'air dans la zone non ombragée, et même la température maximale, ne dépassent pas outre mesure la limite permettant la photosynthèse (seuil 34 °C). De plus, les températures minimales mensuelles diffèrent peu entre les zones ombragées et non ombragées, alors que la fluctuation des températures du sol est plus marquée dans la zone non ombragée. Un des principaux constats de cette étude concerne la sécheresse plus marquée des sols dans la zone ombragée, surtout au début et à la fin de la saison sèche. Ceci s'explique probablement par l'augmentation de la transpiration totale par celle des arbres d'ombrage. L'absorption d'eau plus importante en agroforesterie pourrait ainsi avoir un impact négatif sur la croissance des caféiers dans les situations où la disponibilité en eau est un facteur limitatif.

**Mots-clés :** agroforesterie, humidité de l'air, *Coffea arabica*, température du sol, disponibilité en eau du sol, Pérou, Amazonie.

## ABSTRACT

### IMPACT OF TREE SHADING ON THE MICROCLIMATE OF A COFFEE PLANTATION: A CASE STUDY FROM THE PERUVIAN AMAZON

Agroforestry is considered to be one of the agricultural strategies that could help to adapt crops to climate change. As a case study, we compared the microclimatic conditions at a location where *Coffea arabica* was shaded mainly by *Inga* spp. with the conditions in an unshaded *C. arabica* monoculture in the same coffee plantation in the Pasco region in Peru. Air temperature, air humidity, soil temperature and soil water availability were measured over three years. The results indicate that tree shading reduced the mean air temperature by  $0.4 \pm 0.04$  °C and soil temperature by  $1.7 \pm 0.3$  °C, and increased air humidity by  $3.9 \pm 0.4\%$  compared to the unshaded area. However, the monthly average air temperature and even the monthly maximum in the unshaded area did not greatly exceed the limits for photosynthesis (upper limit 34 °C). Moreover, the minimum monthly air temperatures were similar in the shaded and unshaded areas. The soil temperatures did, however, fluctuate more markedly in the unshaded area. One of the main findings of this case study was that soil conditions were drier in the shaded area, especially at the beginning and end of the dry season. This was probably due to increased total transpiration resulting from that contributed by the shade trees. Thus, higher water uptake in agroforestry systems might have a negative impact on the growth of coffee plants where water availability is a limiting factor.

**Keywords:** agroforestry system, air humidity, *Coffea arabica*, soil temperature, soil water availability, Peru, Amazonia.

## RESUMEN

### IMPACTO DE LA SOMBRA EN EL MICROCLIMA DE UNA PLANTACIÓN DE CAFÉ: ESTUDIO DE CASO EN LA AMAZONÍA PERUANA

La agroforestería está considerada como una de las estrategias agrícolas que puede contribuir a la adaptación de los cultivos al cambio climático. Este estudio de caso compara las condiciones microclimáticas de una parcela de *Coffea arabica* cultivada con sombra, principalmente de *Inga* spp., con las de una parcela con monocultivo de *C. arabica* sin sombra, ambas en la misma plantación de café en la región de Pasco en Perú. Durante tres años se efectuaron mediciones de la temperatura del aire, la humedad del aire, la temperatura del suelo y la disponibilidad de agua en el suelo. Los resultados indican que la sombra de los árboles reduce la temperatura media del aire de  $0,4 \pm 0,04$  °C y la temperatura del suelo de  $1,7 \pm 0,3$  °C, y aumenta la humedad del aire de  $3,9 \pm 0,4\%$  con respecto a la zona no sombreada. Sin embargo, la media mensual de las temperaturas del aire en la zona sin sombra, e incluso la temperatura máxima, no superan excesivamente el límite que posibilita la fotosíntesis (34 °C). Además, las temperaturas mínimas mensuales varían poco entre zonas con sombra y sin sombra, mientras que la fluctuación de las temperaturas del suelo fue más acusada en la zona sin sombra. Una de las observaciones más importantes de este estudio fue que las condiciones de suelo eran más secas en la zona sombreada, especialmente al principio y al final de la temporada seca. Probablemente esto se deba al aumento de la transpiración total que inducen los árboles de sombra. La mayor absorción de agua en los sistemas agroforestales podría afectar negativamente al crecimiento de las plantas de café en aquellas situaciones en las que la disponibilidad de agua sea una limitante.

**Palabras clave:** agroforestería, humedad del aire, *Coffea arabica*, temperatura del suelo, disponibilidad de agua en el suelo, Perú, Amazonía.

# Production d'*Acacia auriculiformis* dans le système agroforestier de Mampu, plateau Batéké, République démocratique du Congo

Pierre PROCES<sup>1</sup>  
Émilien DUBIEZ<sup>2</sup>  
Franck BISIAUX<sup>3</sup>  
Adrien PÉROCHES<sup>4</sup>  
Adeline FAYOLLE<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Nature+ asbl  
Winstar Park  
62 rue Provinciale  
1301 Wavre  
Belgique

<sup>2</sup> CIRAD  
UPR Forêts et sociétés  
Campus international de Baillarguet  
34398 Montpellier Cedex 5  
France

<sup>3</sup> Fondation Hanns Seidel  
57 avenue des Sénégalais  
BP 10.185, Kinshasa, Gombe  
République démocratique du Congo

<sup>4</sup> ONFi  
45 bis avenue de la Belle Gabrielle  
94736 Nogent sur Marne Cedex  
France

<sup>5</sup> Gembloux Agro-Bio Tech  
Université de Liège  
Unité de Gestion des ressources  
forestières et TERRA  
Teaching and Research Center  
« Forêt d'Afrique centrale »  
Passage des Déportés, 2  
5030 Gembloux  
Belgique



**Photo 1.**  
Panorama de la savane du plateau Batéké.  
Photo P. Proces.

## RÉSUMÉ

### PRODUCTION D'*ACACIA AURICULIFORMIS* DANS LE SYSTÈME AGROFORESTIER DE MAMPU, PLATEAU BATÉKÉ, RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO

Géré par des communautés locales depuis plus de vingt ans, le massif agroforestier à *Acacia auriculiformis* de Mampu, sur le plateau Batéké en République démocratique du Congo (RDC), contribue à l'approvisionnement de Kinshasa en produits vivriers et en bois énergie. Grâce aux subventions internationales, ce système agroforestier, qui intègre la pratique de l'abattis-brûlis, est reproduit un peu partout en RDC, bien que sa performance n'ait jamais été évaluée. L'objectif de cette étude était d'estimer la production d'*Acacia auriculiformis* en biomasse totale et exploitable pour le charbon de bois (tige et branches de plus de 4 cm de diamètre) dans le système agroforestier. À cet effet, deux équations allométriques locales, portant sur la biomasse totale et exploitable, ont été ajustées à partir de données destructives. Des données d'inventaire existantes (n = 112 parcelles) ont permis d'identifier une grande hétérogénéité structurale sur l'ensemble de la rotation (8-10 ans) mais également entre parcelles du même âge. Malgré cette hétérogénéité qui peut s'expliquer par la diversité des conditions environnementales sur le site et/ou les disparités dans l'appropriation de l'itinéraire technique, la production reste néanmoins comparable à celle observée sur d'autres sites avec, en moyenne, 145 tonnes par hectare en 10 ans. Le système agroforestier de Mampu présente de nombreux avantages, des services directs avec la création d'emplois ruraux, et la production combinée de produits vivriers et de charbon de bois, mais aussi des services indirects, comme la déforestation évitée, et le stockage du carbone. La durabilité et la diffusion de ce système agroforestier peuvent néanmoins être discutées.

**Mots-clés :** *Acacia auriculiformis*, allocation de la biomasse, équation allométrique, facteur d'expansion de la biomasse, inventaire forestier, tarif de cubage, rotation courte, République démocratique du Congo.

## ABSTRACT

### *ACACIA AURICULIFORMIS* PRODUCTION IN THE MAMPU AGROFORESTRY ZONE ON THE BATÉKÉ PLATEAU, DEMOCRATIC REPUBLIC OF CONGO

The Mampu agroforestry zone on the Batéké plateau in the Democratic Republic of Congo, which has been managed with *Acacia auriculiformis* shade trees for over twenty years by local communities, supplies subsistence products and fuel wood to Kinshasa. Thanks to international grant funding, this agroforestry system, which integrates traditional slash-and-burn cultivation, has been replicated in many places across the RDC, but its performance has never been assessed. The aim of this study was to estimate *Acacia auriculiformis* production in terms of total biomass and usable biomass for charcoal (stems and branches more than 4 cm in diameter) as part of the agroforestry system. To do so, two local allometric equations for total and usable biomass were adjusted from destructive testing data. Using existing inventory data (n = 112 plots), we identified significant structural heterogeneity throughout the rotation period (8-10 years) but also among plots of the same age. Despite this heterogeneity, which may be accounted for by environmental conditions on site and/or by differences in the handling of plot management techniques, production is comparable to that observed at other sites, averaging 145 tonnes per hectare over 10 years. The Mampu agroforestry system has many advantages, including direct services creating rural employment and combined production of subsistence goods and charcoal, but also indirect services such as avoided deforestation and carbon sequestration. The system's sustainability and dissemination should nevertheless be discussed.

**Keywords:** *Acacia auriculiformis*, biomass allocation, allometric equation, biomass expansion factor, forest inventory, volume table, short rotation, Democratic Republic of Congo.

## RESUMEN

### PRODUCCIÓN DE *ACACIA AURICULIFORMIS* EN EL SISTEMA AGROFORESTAL DE MAMPU EN LA MESETA BATEKÉ, REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO

La formación agroforestal de *Acacia auriculiformis* de Mampu, ubicada en la meseta Bateké de la República Democrática del Congo (RDC) y gestionada por las comunidades locales desde hace más de veinte años, contribuye al suministro de productos alimenticios y leña de Kinshasa. Gracias a las subvenciones internacionales, este sistema agroforestal, que integra la práctica de la tala y quema, se utiliza por todo el país aunque nunca se haya evaluado su desempeño. El objetivo de este estudio consistía en estimar la producción de *Acacia auriculiformis* en biomasa total y explotable para carbón vegetal (tallos y ramas de más de 4 cm de diámetro) en el sistema agroforestal. Para ello, se ajustaron dos ecuaciones alométricas locales, a partir de datos obtenidos por métodos destructivos, para averiguar la biomasa total y explotable. Mediante los datos de inventario existentes (n = 112 parcelas) se pudo identificar una gran heterogeneidad estructural tanto en el conjunto de la rotación (8-10 años) como entre las parcelas de idéntica edad. A pesar de esta heterogeneidad, que puede deberse a la diversidad de condiciones ambientales del sitio y/o a disparidades en la asimilación del itinerario técnico, la producción es comparable a la observada en otros sitios, con un promedio de 145 toneladas por hectárea en 10 años. El sistema agroforestal de Mampu tiene muchas ventajas en forma de beneficios directos, como la creación de empleos rurales y la producción combinada de productos alimenticios y carbón vegetal; pero cuenta asimismo con beneficios indirectos como la deforestación evitada y el almacenamiento de carbono. No obstante, la sostenibilidad y difusión de este sistema agroforestal pueden discutirse.

**Palabras clave:** *Acacia auriculiformis*, asignación de la biomasa, ecuación alométrica, factor de expansión de la biomasa, inventario forestal, tabla de cubicación, rotación corta, República Democrática del Congo.

# Production de plants d'arganier (*Argania spinosa*) au Maroc : choix du conteneur et du substrat

**Abderrahim FERRADOUS<sup>1</sup>**

**Mohamed HAFIDI<sup>2</sup>**

**Mohamed ALIFRIQUI<sup>2</sup>**

**Ahmed OUHAMMOU<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Centre de la recherche forestière du Maroc  
Centre régional de la recherche forestière  
Km 2,5 circuit de la Palmeraie  
Marrakech  
Maroc

<sup>2</sup> Université Cadi Ayyad Marrakech  
Faculté des sciences Semlalia  
Laboratoire écologie et environnement  
Unité associée au CNRST, URAC 32  
Boulevard Prince My Abdellah  
BP 2390, 40000 Marrakech  
Maroc



**Photo 1.**  
Arganeraie de Rbai à une vingtaine de kilomètres à l'est de la ville d'Essaouira.  
Photo A. Ferradous.

## RÉSUMÉ

### PRODUCTION DE PLANTS D'ARGANIER (*ARGANIA SPINOSA*) AU MAROC : CHOIX DU CONTENEUR ET DU SUBSTRAT

Dans le but d'obtenir des plants d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) de bonne qualité en pépinière, huit types de conteneurs et trois substrats hors-sol (compost de branches broyées d'*Acacia cyanophylla*, compost de déchets d'extraction de graines de *Tetraclinis articulata*, tourbe commerciale) mélangés avec du terreau forestier dans des proportions différentes ont été testés. L'analyse physico-chimique des substrats a montré que les deux composts produits localement sont les mieux indiqués pour la production de plants d'arganier de bonne qualité. Ces substrats peuvent représenter une alternative aux substrats à base de tourbe, importés et coûteux. Le compost de branches d'*Acacia cyanophylla* peut être produit de manière satisfaisante pour répondre aux besoins des pépinières forestières locales. L'évolution des paramètres morphologiques et l'analyse effectuée sur les plants après un séjour de sept mois en pépinière ont montré que le conteneur de 400 ml est satisfaisant pour produire des plants d'arganier d'une qualité proche de celle obtenue avec les sachets en polyéthylène de 800 ml. Ces résultats constituent une première étape pour maîtriser les techniques de production de plants dans des conteneurs hors-sol, pour l'arganier ou d'autres espèces autochtones marocaines. Il conviendrait d'étudier d'autres aspects de la production de plants dans les pépinières marocaines, telles l'irrigation, la fertilisation ou la mycorhization. Des essais de plantation sont envisagés pour confirmer les résultats de cette étude.

**Mots-clés :** arganier, *Argania spinosa*, plant, conteneur, substrat, pépinière, compost, tourbe, Maroc.

## ABSTRACT

### PRODUCTION OF *ARGANIA SPINOSA* SEEDLINGS IN MOROCCO: CHOOSING THE RIGHT CONTAINER AND SUBSTRATE

To obtain high quality argan seedlings (*Argania spinosa* L. Skeels) in the nursery, eight types of containers and three different substrates for off-ground cultivation (shredded composted branches of *Acacia cyanophylla*, composted hulls of *Tetraclinis articulata* seeds, commercial peat) mixed with leaf mould in different proportions were tested. Physico-chemical analysis of the substrates showed that the two locally produced types of compost were better indicated for the production of high quality argan seedlings. These substrates could be an alternative to costly, imported peat-based substrates. Compost can be produced satisfactorily from shredded *Acacia cyanophylla* branches to meet the needs of local tree nurseries. Changes in morphological parameters and analyses of the seedlings after seven months in the nursery showed that a 400 ml container is suitable for the production of argan seedlings of similar quality to that obtained with 800 ml polythene bags. These results are a first step towards mastering techniques for off-ground production of argan seedlings and other indigenous Moroccan tree species. Further study would be needed on other aspects of seedling production in Moroccan nurseries, such as irrigation, fertilisation and mycorrhization. Trial plantations are under consideration to confirm the results of this study.

**Keywords:** argan tree, *Argania spinosa*, seedling, container, substrate, nursery, compost, peat, Morocco.

## RESUMEN

### PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE ARGÁN (*ARGANIA SPINOSA*) EN MARRUECOS: ELECCIÓN DEL CONTENEDOR Y DEL SUSTRATO

Se probaron ocho tipos de contenedores y tres sustratos sin suelo (compost de ramas trituradas de *Acacia cyanophylla*, compost de residuos de extracción de semillas de *Tetraclinis articulata* y turba comercial) mezclados con distintas proporciones de mantillo de bosque con el fin de obtener plantas en vivero de argán (*Argania spinosa* L. Skeels) de buena calidad. El análisis físico-químico de los sustratos reveló que los dos compost producidos localmente son los más adecuados para la producción de plantas de argán de buena calidad. Estos sustratos pueden constituir una alternativa a los elaborados con turba: importados y caros. El compost de ramas de *Acacia cyanophylla* puede producirse satisfactoriamente para dar respuesta a las necesidades de los viveros forestales locales. La evolución de los parámetros morfológicos y el análisis realizado en las plantas, tras un período de vivero de siete meses, mostraron que el contenedor de 400 ml es adecuado para producir plantas de argán con una calidad que se aproxima a la lograda con bolsas de polietileno de 800 ml. Estos resultados suponen un primer paso en el dominio de las técnicas de producción de plantas, tanto de argán como de otras especies autóctonas marroquíes, en contenedores sin suelo. Sería conveniente estudiar otros aspectos de la producción de plantas como el riego, la fertilización o la micorrización en los viveros de Marruecos. Se está estudiando la realización de ensayos de siembra para confirmar los resultados de este estudio.

**Palabras clave:** argán, *Argania spinosa*, planta de vivero, contenedor, sustrato, vivero, compost, turba, Marruecos.



# Ethnic and generational differences in traditional knowledge and cultural importance of *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause in Benin's Sudanian savannah

Eude Oré Adédiran GOUDÉGNON<sup>1,2</sup>  
Fifanou G. VODOUHÉ<sup>1,3</sup>  
Gérard Nounagnon GOUWAKINNOU<sup>1,4</sup>  
Valère Kolawolé SALAKO<sup>5</sup>  
Madjidou OUMOROU<sup>1,2</sup>

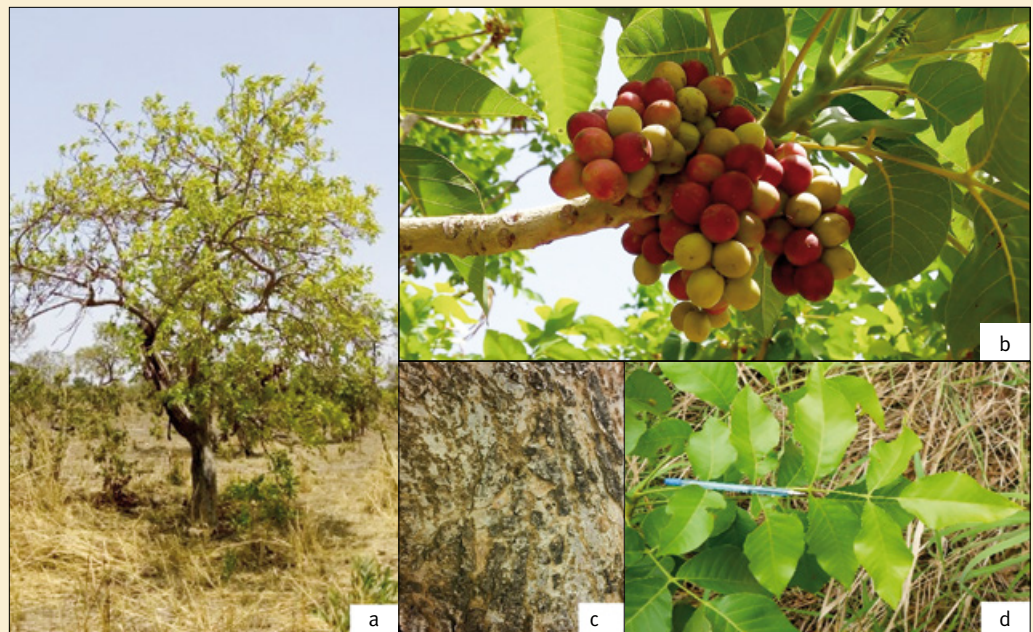
<sup>1</sup> Université d'Abomey-Calavi  
Faculté des sciences agronomiques  
Laboratoire d'écologie appliquée (LEA)  
01 BP 526, Cotonou  
Bénin

<sup>2</sup> Université d'Abomey-Calavi  
École polytechnique d'Abomey-Calavi  
Laboratoire de recherche en biologie  
appliquée (LaRBA)  
01 BP 2009, Cotonou  
Bénin

<sup>3</sup> Université de Parakou  
Faculté d'agronomie  
03 BP 125, Parakou  
Bénin

<sup>4</sup> Université de Parakou  
Faculté d'agronomie  
Laboratoire d'écologie, de botanique  
et de biologie végétale (LEB)  
03 BP 125, Parakou  
Bénin

<sup>5</sup> Université d'Abomey-Calavi  
Faculté des sciences agronomiques  
Laboratoire de biomathématiques  
et d'estimations forestières (LABEF)  
04 BP 1525, Cotonou  
Bénin



**Photo 1.**

Whole tree (a), grape-fruits (b), bark (c) and leaves (d) photo of *Lannea microcarpa*.  
Photo E. O. A. Goudégnon, 2016.

**Auteur correspondant / Corresponding author:**

Eude Oré Adédiran Goudégnon - [eudefirstleader@gmail.com](mailto:eudefirstleader@gmail.com)

## RÉSUMÉ

### DIFFÉRENCE ENTRE LES GÉNÉRATIONS ET GROUPES ETHNIQUES DES CONNAISSANCES TRADITIONNELLES ET DE L'IMPORTANCE CULTURELLE DE *LANNEA MICROCARPA* ENGL. & K. KRAUSE EN SAVANE SOUDANIANNE AU BÉNIN

Connaître l'importance socioculturelle des arbres fruitiers autochtones et des facteurs qui la déterminent est un préalable indispensable à leur valorisation et aux décisions sur leur mode de gestion. La présente étude s'est attachée à documenter les connaissances traditionnelles (CT) et l'importance culturelle (IC) de *Lannea microcarpa*, arbre fruitier autochtone peu connu et sous-utilisé de la zone soudanienne au Bénin. L'étude s'est également penchée sur les éventuelles variations en termes de CT et de IC selon les groupes ethniques et les générations. Nous avons recueilli des informations sur les utilisations et l'importance de l'essence auprès de 262 personnes sélectionnées de manière aléatoire dans la zone de distribution de l'arbre, à l'aide de listes libres et d'un système de notation. Vingt-huit utilisations réparties en huit catégories d'usages ont été recensées, dont 21 médicinales, deux commerciales et une chacune pour l'alimentation humaine, le fourrage, le bois de feu, la construction, l'emballage et les cure-dents. Contrairement au cas des autres catégories d'utilisation, les connaissances traditionnelles liées aux usages pour l'alimentation n'ont pas varié selon les générations ou les groupes ethniques. De plus, les utilisations alimentaires sont culturellement les plus importantes, suivies par les utilisations médicinales. Globalement, le fruit est la partie préférée de l'arbre, et la plus souvent commercialisée. Les problèmes de santé traités à l'aide de *L. microcarpa* comprennent l'anémie, la diarrhée, la toux, les ulcères, les maux d'estomac et les hémorragies suite aux accouchements. Nos résultats indiquent que la domestication de *L. microcarpa* devra privilégier le fruit, la partie de l'arbre la plus appréciée. D'autres études pourront ainsi se pencher sur les possibilités de domestication de *L. microcarpa* en privilégiant ses caractéristiques fruitières et l'amélioration de la production de fruits.

**Mots-clés :** *Lannea microcarpa*, connaissances traditionnelles, valorisation des essences fruitières, zone soudanienne, Bénin.

## ABSTRACT

### ETHNIC AND GENERATIONAL DIFFERENCES IN TRADITIONAL KNOWLEDGE AND CULTURAL IMPORTANCE OF *LANNEA MICROCARPA* ENGL. & K. KRAUSE IN BENIN'S SUDANIAN SAVANNAH

Understanding the socio-cultural importance of indigenous fruit trees (IFT) and its determining factors is a prerequisite for developing their value and making management decisions. This study documented traditional knowledge (TK) and the cultural importance (CI) of *Lannea microcarpa*, a neglected and underused indigenous fruit tree found in Benin's Sudanian region. The study further tested whether TK and CI varied according to ethnic groups and generations. We collected data on the uses and importance of the species from 262 informants who were randomly selected within its zone of occurrence, using free lists and scoring, respectively. Twenty-eight specific usages divided in eight categories of uses were reported, of which 21 were medicinal, 2 were commercial, and 1 each was for human food, fodder, firewood, construction, packaging and toothpicks. Contrary to the other use categories, traditional knowledge on food uses did not vary either between generations or among ethnic groups. In addition, food use was culturally the most important, followed by medicinal uses. Overall, the fruit was the most preferred and most frequently commercialised part of the plant. Medical conditions treated with *L. microcarpa* include anaemia, diarrhoea, coughs, ulcers, stomach aches and blood evacuation after childbirth. Our findings suggest that domestication of *L. microcarpa* should prioritise the fruit, which is the most valued part of the plant. Further studies should therefore focus on the domestication potential of *L. microcarpa* for its fruit traits and on how to improve fruit production.

**Keywords:** *Lannea microcarpa*, folk knowledge, development of fruit species, Sudanian zone, Benin.

## RESUMEN

### VARIACIONES GENERACIONALES Y ÉTNICAS EN EL CONOCIMIENTO TRADICIONAL Y EN LA IMPORTANCIA CULTURAL DE *LANNEA MICROCARPA* ENGL. & K. KRAUSE EN LA SABANA SUDANESA DE BENÍN

Conocer la importancia sociocultural de los árboles frutales autóctonos y los factores que la determinan es una condición previa imprescindible para tomar decisiones sobre la valorización y el manejo. Este estudio documentó el conocimiento tradicional (CT) y la importancia cultural (IC) de *Lannea microcarpa*, un frutal autóctono poco conocido e infrautilizado de la zona sudanesa de Benín. El estudio también analizó las posibles variaciones del CT y la IC entre grupos étnicos y generacionales. Mediante el método de listados libres y un sistema de puntuación, se recogió información sobre los usos e importancia de la especie entre 262 personas seleccionadas al azar en la zona de distribución del árbol. Se registraron veintiocho utilizaciones divididos en 8 categorías de uso, 21 de los cuales eran medicinales, 2 comerciales y uno para cada una de las categorías siguientes: alimentación humana, forraje, leña, construcción, embalaje y palillos de dientes. Al contrario de las demás categorías de usos, los conocimientos tradicionales relacionados con los usos alimentarios no varían según las generaciones o grupos étnicos. Además, los usos alimentarios son los más importantes culturalmente, seguidos por los usos medicinales. En general, el fruto es la parte preferida del árbol y la que más se comercializa. Los problemas de salud tratados con *L. microcarpa* comprenden la anemia, diarrea, tos, úlceras, dolores estomacales y hemorragias postparto. Estos resultados sugieren que se debe priorizar el fruto, la parte más apreciada del árbol, en la domesticación de *L. microcarpa*. Los posteriores estudios podrán analizar las posibilidades de domesticación de *L. microcarpa* centrándose en las características frutales y en el mejoramiento de la producción de fruta.

**Palabras clave:** *Lannea microcarpa*, conocimiento tradicional, valorización de especies frutales, zona sudanesa, Benín.

# Qualité et usages du bois de cinq espèces forestières adaptées à la plantation à vocation de bois d'œuvre et testées en Guyane française

**Hélène MOREL**<sup>1</sup>  
**Éric NICOLINI**<sup>2</sup>  
**Julie BOSSU**<sup>3</sup>  
**Lilian BLANC**<sup>4</sup>  
**Jacques BEAUCHÊNE**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cirad, UMR EcoFoG  
(AgroParisTech, Cirad, Inra, Université  
des Antilles, Université de Guyane)  
97387 Kourou  
France

<sup>2</sup> Cirad, UMR Amap  
(Cirad, CNRS, Inra, IRD, Université  
de Montpellier)  
97387 Kourou  
France

<sup>3</sup> CNRS, UMR EcoFoG  
(AgroParisTech, Cirad, Inra, Université  
des Antilles, Université de Guyane)  
97387 Kourou  
France

<sup>4</sup> Cirad  
UPR Forêts et Sociétés  
Campus de Baillarguet  
34398 Montpellier Cedex 5  
France



**Photo 1.**  
Sciage d'un *Tarrietia utilis* de 30 ans dans les plantations de Paracou.  
Photo H. Morel.

## RÉSUMÉ

### QUALITÉ ET USAGES DU BOIS DE CINQ ESPÈCES FORESTIÈRES ADAPTÉES À LA PLANTATION À VOCATION DE BOIS D'ŒUVRE ET TESTÉES EN GUYANE FRANÇAISE

Des essais de plantations forestières ont été menés en Guyane française depuis le début des années 1960 sur plus de 138 espèces (70 espèces natives et 68 espèces exotiques). Une étude récente sur la productivité de ces espèces en plantation (projet ForesTreeCulture, 2013-2015) a mis en avant le fort potentiel de production de trois espèces natives (*Simarouba amara* Aubl., *Vochysia tomentosa* (G. Mey.) DC., *Bagassa guianensis* (Aubl.)) et d'une espèce d'Afrique de l'Ouest (*Tarrietia utilis* Sprague) avec des volumes de bois produits supérieurs à 20 m<sup>3</sup>/ha/an. Cependant, les propriétés du bois de ces espèces commerciales ne sont connues qu'au travers d'arbres issus de forêt naturelle. Nous présentons les propriétés du bois de ces espèces en conditions de plantation – densité, retrait, élasticité, angle du fil, durabilité – et discutons de leurs potentiels et de leurs usages respectifs futurs. Une autre espèce, *Cordia alliodora* ((Ruiz et Pavon) Oken), a également été retenue bien qu'elle n'ait pas encore été plantée en Guyane française. Cette espèce, native de Guyane, est bien connue en Amérique latine pour son bois et son fort potentiel de croissance en milieu anthropisé.

**Mots-clés :** propriétés technologiques, qualité du bois, plantation, Guyane française.

## ABSTRACT

### QUALITY AND USES OF TIMBER FROM FIVE FOREST SPECIES SUITED TO PLANTATION MANAGEMENT AND TESTED IN FRENCH GUIANA

Forest plantation trials have been conducted in French Guiana since the early 1960s with over 138 tree species (70 native and 68 exotic). A recent study on their productivity in plantations (ForesTreeCulture project, 2013-2015) showed the high potential of three native species (*Simarouba amara* Aubl., *Vochysia tomentosa* (G. Mey.) DC., *Bagassa guianensis* (Aubl.)) and one West African species (*Tarrietia utilis* Sprague), all of which produced timber volumes in excess of 20 m<sup>3</sup>/ha/year. However, the properties of these as commercial species are known only from trees that have grown in their natural forest environment. This article describes the properties of their timber when produced in plantation conditions – density, shrinkage, elasticity, angle of the grain, durability – and discusses the future potential and uses of each. A fourth species, *Cordia alliodora* ((Ruiz & Pavon) Oken), was also selected for study although it has not yet been planted in French Guiana. This species is native to French Guiana and well known across Latin America for its timber and high potential for growth in managed environments.

**Keywords:** technical properties, timber quality, plantation, French Guiana.

## RESUMEN

### CALIDAD Y USOS DE MADERAS DE CINCO ESPECIES FORESTALES PRBADAS EN LA GUAYANA FRANCESA PARA PLANTACIONES DE MADERA DE CONSTRUCCIÓN

Desde principios de los años 60, se vienen realizando ensayos de plantaciones forestales en la Guayana Francesa con más de 138 especies (70 especies nativas y 68 exóticas). Un reciente estudio sobre la productividad en plantaciones de dichas especies (proyecto ForesTreeCulture, 2013-2015) destacó el gran potencial productivo de tres especies nativas (*Simarouba amara* Aubl., *Vochysia tomentosa* (G. Mey.) DC., *Bagassa guianensis* (Aubl.)) y una especie de África Occidental (*Tarrietia utilis* Sprague), con volúmenes de producción de madera superiores a 20 m<sup>3</sup>/ha/año. No obstante, las propiedades de la madera de estas especies comerciales sólo se conocen a través de árboles procedentes de bosques naturales. Presentamos aquí las propiedades madereras de estas especies en condiciones de plantación –densidad, contracción, elasticidad, ángulo de la fibra y durabilidad– y analizamos su potencial y sus respectivos usos futuros. Se seleccionó una especie más, *Cordia alliodora* ((Ruiz y Pavón) Oken), aunque nunca se ha sembrado en la Guayana Francesa. Esta especie, originaria de Guyana, es bien conocida en América Latina por su madera y su alto potencial de crecimiento en medios antropizados.

**Palabras clave:** propiedades tecnológicas, calidad de la madera, plantación, Guayana Francesa.

**Déterminants de la structure  
des communautés fongiques  
dans les forêts de Corse :  
rôle des perturbations et de la  
composition forestière**

Adrien TAUDIÈRE

**RÉSUMÉ**

L'étude de l'écologie des micro-organismes est récente malgré son importance pratique et théorique intrinsèque, mais également son rôle central dans la niche des macro-organismes. Les interactions plantes-champignons, de par leur importance socio-écologique et leur diversité — du mutualisme au parasitisme en passant par le commensalisme —, offrent un modèle judicieux pour étudier l'écologie des communautés de micro-organismes en interaction avec des macro-organismes.

À l'aide de techniques de séquençage à haut débit (NGS) et d'analyse des réseaux, nous explorons certains déterminants de la structure des champignons des forêts de Corse à travers trois guildes : les champignons ectomycorhiziens, endophytiques et saprotrophes. Ce travail considère les processus de dispersion, les perturbations (feux et chablis), les facteurs environnementaux (par exemple la profondeur du sol) et les contraintes dérivées de l'interaction avec les hôtes (par exemple la taxinomie). Les assemblages des communautés des différentes guildes présentent des patrons communs qui pourraient être issus de mécanismes identiques. Ainsi, l'ensemble des guildes étudiées présentent des variations fortes à l'échelle des microrégions de Corse et entre forêts ayant des histoires de feux différentes. En revanche, l'importance des différents processus d'assemblage et les échelles spatiales auxquelles ils s'appliquent varient selon les guildes. Nous discutons des implications que suscite ce travail pour les écologues des communautés et pour les gestionnaires d'espaces naturels.

**Mots-clés :** champignons, mycorrhizes, régime de feu, écologie des communautés, chablis, décomposition, *Pinus nigra* subsp. *laricio*, forêt mixte, Corse, Méditerranée, France.

**Drivers of fungal community composition  
in Corsican forests: role of disturbance  
and plant composition**

**ABSTRACT**

Studies of the ecology of micro-organisms began only recently despite their intrinsic importance — both practical and theoretical — and their central role in forming the niche habitats of macro-organisms. Plant-fungi interactions offer a relevant model for studies of the ecology of micro-organisms interacting with macro-organisms because of their considerable ecological and economic value as well as their high taxonomic and ecological diversity.

Using next-generation sequencing (NGS) and network analysis, we explored some of the drivers of fungal community composition in Corsica, at various scales and in three ecological guilds: ectomycorrhizal, endophytic and saprotrophic fungi. We investigated the effects on fungal communities of disturbance (e.g. fire and tree-fall), environmental variables (e.g. soil depth), constraints due to interactions with host plants (e.g. taxonomy) and dispersion. Some patterns of community assembly are similar across guilds and may be governed by the same mechanisms. We found wide variations in fungal communities at the micro-regional scale among the guilds studied and between forests with a different history of wildfires. However, the relative importance of assembly processes and the spatial scales at which they occur vary across guilds. In Corsican pine forests, fifteen years after a fire, the diversity of soil fungus is close to the diversity in unburned stands. Despite the absence of effects on diversity, fire produces clear shifts in the composition of soil fungus communities, in particular for saprobic fungi. We discuss the implications of these findings for plant and fungal community ecologists and for managers of natural areas.

**Keywords:** fungi, mycorrhiza, fire regime, community ecology, canopy gaps, decomposition, *Pinus nigra* subsp. *laricio*, mixed forest, Corsica, Mediterranean, France.

**Determinantes de la estructura de  
las comunidades fúngicas en los bosques de  
Córcega: rol de las perturbaciones  
y de la composición forestal**

**RESUMEN**

Pese a su intrínseca importancia práctica y teórica, el estudio de la ecología de los microorganismos — y su papel central en el nicho de los macroorganismos — es reciente. Las interacciones planta-hongo, por su importancia socioecológica y su diversidad — del mutualismo al parasitismo pasando por el comensalismo — proporcionan un modelo adecuado para estudiar la ecología de las comunidades de microorganismos en interacción con macroorganismos. Mediante técnicas de secuenciación de nueva generación (NGS) y análisis de redes, exploramos algunos determinantes de la estructura de los hongos de los bosques de Córcega a través de tres gremios: los hongos ectomicorrízicos, endófitos y saprófitos. Este trabajo tiene en cuenta procesos de dispersión, perturbaciones (incendios y chablis), factores ambientales (la profundidad del suelo, por ejemplo) y limitaciones derivadas de la interacción con los hospedantes (la taxonomía, por ejemplo). Los ensamblajes de comunidades de los distintos gremios siguen pautas comunes que podrían originarse según unos mismos mecanismos. Así pues, todos los gremios estudiados muestran importantes variaciones a nivel de las microrregiones de Córcega y entre bosques con distintos antecedentes de incendios. En cambio, la importancia de los distintos procesos de ensamblaje y las escalas espaciales a las que se aplican varían según los gremios. Se analizan las repercusiones de este trabajo para los ecólogos de comunidades y los gestores de espacios naturales.

**Palabras clave:** hongos, micorrizas, régimen de incendios, ecología de comunidades, chablis, descomposición, *Pinus nigra* subsp. *laricio*, bosque mixto, Córcega, Mediterráneo, Francia.

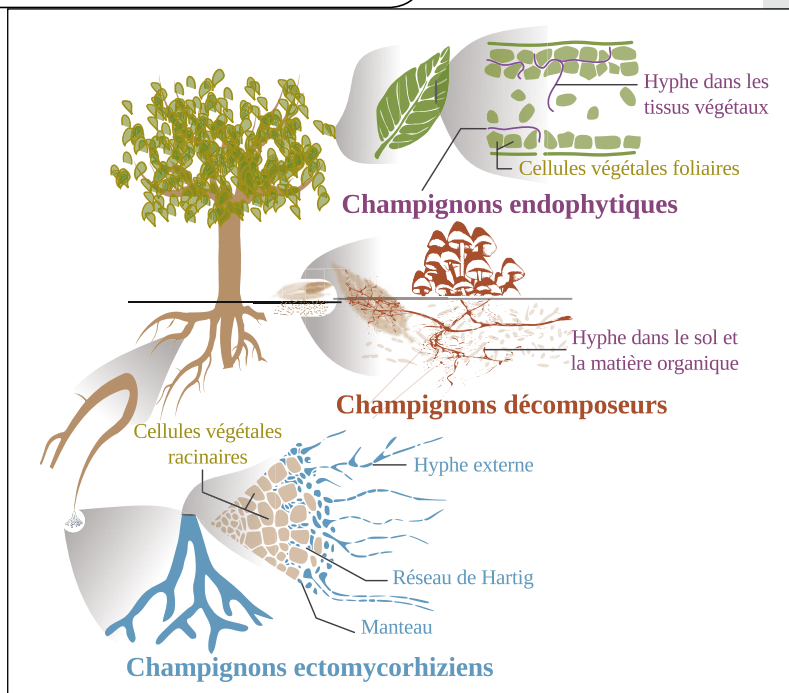


Figure 1.

Illustration des trois guildes fongiques étudiées dans ce travail de thèse.

The three fungal guilds studied for this thesis.

Ilustración de los tres gremios de hongos estudiados en esta tesis.

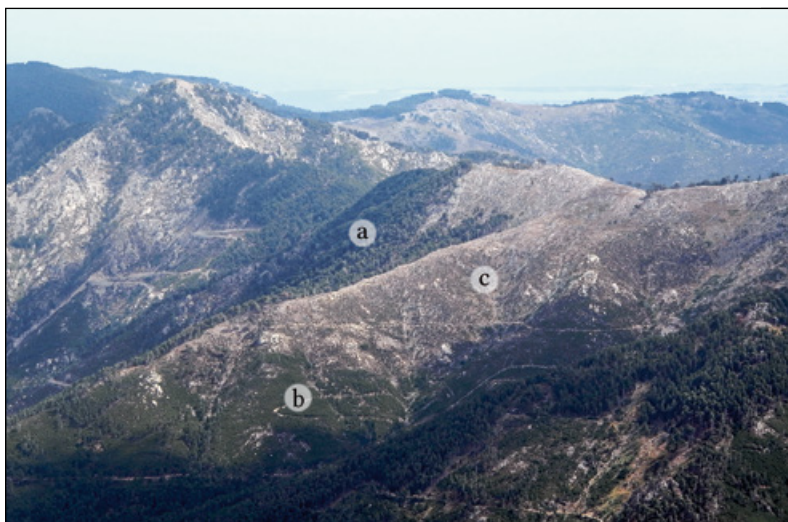


Photo 1.

Forêt de pin laricio (*Pinus nigra* subsp. *laricio*) autour du col de Sorba (Corse, France) en 2015, 15 ans après les feux importants de l'année 2000. On peut distinguer trois types de paysages : (a) des zones non détruites par le feu avec des arbres adultes, (b) des zones de régénération constituées uniquement de jeunes arbres et (c) des zones où la régénération est quasi inexistante, identifiable par le grand nombre de troncs d'arbres blancs au sol.

Laricio pines (*Pinus nigra* subsp. *laricio*) around the Sorba Pass (Corsica, France) in 2015, 15 years after the major forest fires of 2000. Three types of landscapes are shown: (a) areas not destroyed by fire, with adult trees, (b) regeneration zones consisting solely of young trees, and (c) areas where regeneration is almost non-existent, identifiable by the large number of white trunks on the ground.

Bosque de pino laricio (*Pinus nigra* subsp. *laricio*) alrededor del Paso de Sorba (Córcega, Francia) en 2015, 15 años después de los grandes incendios del 2000. Se pueden distinguir tres tipos de paisajes: (a) áreas no destruidas por el fuego con árboles adultos, (b) áreas de regeneración constituidas únicamente por árboles jóvenes, y (c) áreas donde la regeneración es casi inexistente, identificables por el gran número de troncos blancos en el suelo.

Photo A. Taudière

**Grade et diplôme :** Docteur en sciences de l'École Pratique des Hautes Études.

**Université :** École Pratique des Hautes Études, France.

**Date de soutenance :** 18 novembre 2016.

**Direction et encadrement :** C. CARCAILLET (Directeur d'études EPHE, France) et F. RICHARD (Professeur des Universités, Université de Montpellier, France).

**Composition du jury**

**Membres :** P. CHOLER (Chargé de recherche CNRS, LEA, UMR 5553 CNRS, Grenoble, France), T. CURT (Directeur de recherche IRSTEA, UR EMAX, Aix-en-Provence, France), A. DAHLBERG (Professor at the Swedish University of Agriculture Sciences, Uppsala, Sweden), F. MÉDAIL (Professeur à Aix-Marseille Université, IMBE, UMR 6372, Aix-en-Provence, France), E. THÉBAULT (Chargée de recherches CNRS, IEES, UMR 7618, Paris, France).

**Langue de rédaction :** français.

**Accès au manuscrit :** <http://www.theses.fr/2016ephe3066/document>  
<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01578827/document>

**Contact :** Université de Montpellier, 163 rue Auguste Broussonnet, 34090 Montpellier, France.

[adrien.taudiere@zaclys.net](mailto:adrien.taudiere@zaclys.net)

<http://adrietaudiere.github.io/>

**Histoire évolutive du complexe  
*Afzelia* Smith (Leguminosae  
- Caesalpinioideae) dans les  
écosystèmes forestiers et  
savaniques d'Afrique tropicale**

Segbedji Armel Loïc DONKPEGAN

**RÉSUMÉ**

Le genre *Afzelia* Smith est connu pour comporter sept espèces africaines d'arbres dont deux se retrouvent dans la région zambézienne, une en région soudanaise et les quatre autres en région guinéo-congolaise. Ces taxons, à haute valeur commerciale, sont difficiles à distinguer les uns des autres. Ils sont donc commercialisés sous un même nom : « doussié » ou « afzelia ». Ces difficultés de distinction peuvent s'avérer préjudiciables à la gestion durable des populations.

Le but de cette thèse de doctorat est de caractériser l'histoire évolutive du genre *Afzelia*. Plus spécifiquement, cette étude vise à : (i) évaluer le niveau des divergences morphologiques au sein du genre et décrire les relations phylogénétiques, afin de quantifier l'isolement reproductif entre les taxons d'*Afzelia* en mettant en évidence le rôle des changements climatiques passés et/ou des gradients écologiques dans la spéciation ; (ii) procéder à une analyse approfondie de la diversité et de la structuration génétique spatiale d'*Afzelia* spp. ; (iii) identifier et décrire les facteurs écologiques, biotiques et abiotiques susceptibles d'influencer les flux géniques à l'échelle des populations d'une espèce d'*Afzelia* (*A. bipindensis*).

Une analyse morphogénétique des espèces a été effectuée et a confirmé la forte ressemblance botanique entre les taxons. Les espèces de savane se sont avérées être diploïdes et présentent la moitié de la taille du génome des espèces forestières qui sont donc tétraploïdes. Les phylogénies de gènes, nucléaires et chloroplastiques, diffèrent entre elles. De telles différences peuvent être générées à la suite d'épisodes d'hybridation ancestrale entre espèces. Ces hybridations seraient probablement anciennes et seraient survenues entre les lignées des espèces forestières et celles d'*A. quanzensis* (une espèce des savanes zambéziennes). La polyploïdie serait survenue entre 7 et 9,4 millions d'années au cours de l'histoire évolutive du genre. De plus, une assignation bayésienne et des analyses d'isolement reproductif ont suggéré l'existence de croisements interspécifiques, mais uniquement chez les espèces forestières distribuées en sympatrie. À une échelle spatiale plus limitée, deux groupes génétiques bien différenciés ont été observés en sympatrie chez *A. bipindensis*. Ceux-ci présentent une différenciation morphologique et un décalage phénologique de la floraison qui peut contribuer à leur isolement reproductif.

Cette étude a permis de mettre en évidence quelques points importants que sont : la découverte d'un complexe polyploïde au sein du genre *Afzelia* ; la confirmation de la délimitation des espèces diploïdes de savane ; et la nécessité de réviser la taxonomie des espèces tétraploïdes forestières.

**Mots-clés :** *Afzelia* spp., phylogénie, phyllogéographie, structure et diversité génétique, polyploïdie, flux de gènes, phénologie, savane, forêts tropicales, Afrique tropicale.

**Evolutionary history of the *Afzelia* Smith  
(Leguminosae - Caesalpinioideae) complex  
in forest and savannah ecosystems  
of tropical Africa****ABSTRACT**

The genus *Afzelia* Smith includes seven African tree species: two are found in the Zambezi region, one in the Sudanian region and four in the Guinea-Congo region. These taxa are commercially valuable but because they are difficult to distinguish, they are marketed under the same commercial name, either "doussié" or "afzelia", which complicates sustainable management of their populations.

The aim of this PhD thesis is to characterize the evolutionary history of the *Afzelia* genus. More specifically, our study aims to: (i) assess the extent of morphological divergence within the *Afzelia* genus and describe the phylogenetic relationships in order to quantify the reproductive isolation of the different taxa by identifying the role of past climate change and / or ecological gradients in the speciation of the genus; (ii) analyze the spatial genetic diversity and structure of *Afzelia* spp.; (iii) identify and describe the ecological, biotic and abiotic factors that may influence population-level gene flows in an *Afzelia* species (*A. bipindensis*).

Our morpho-genetic analysis of the different species confirmed the strong botanical resemblance between the taxa. The savannah species are diploid and their genome is half the size of the forest species, which are tetraploid. The phylogenies of the genes, nuclear and chloroplast, are not the same. The differences observed could have been generated by ancient hybridization between species, which would have occurred between the forest lineages and those of *A. quanzensis*, a Zambezi savannah species. Polyploidy probably emerged during the evolutionary history of the genus between 7 and 9.4 million years ago. Bayesian assignment and reproductive isolation analyses also suggested interspecies crossing, but only among forest species distributed sympatrically. On a more limited spatial scale, two well differentiated genetic groups of *A. bipindensis* were observed to be sympatric. These show differences in their morphology and flowering phenology that could contribute to their reproductive isolation.

This study made several important findings: discovery of a polyploid complex within the *Afzelia* genus, confirmation of the boundaries of diploid savannah species and the need to revise the taxonomy of tetraploid forest species.

**Keywords:** *Afzelia* spp., phylogeny, phyllogeography, genetic diversity, polyploidy, gene flow, phenology, savannah, tropical forests, tropical Africa.

**Historia evolutiva del complejo *Afzelia* Smith  
(Leguminosae - Caesalpinioideae)  
en ecosistemas forestales y de sabana  
de África tropical****RESUMEN**

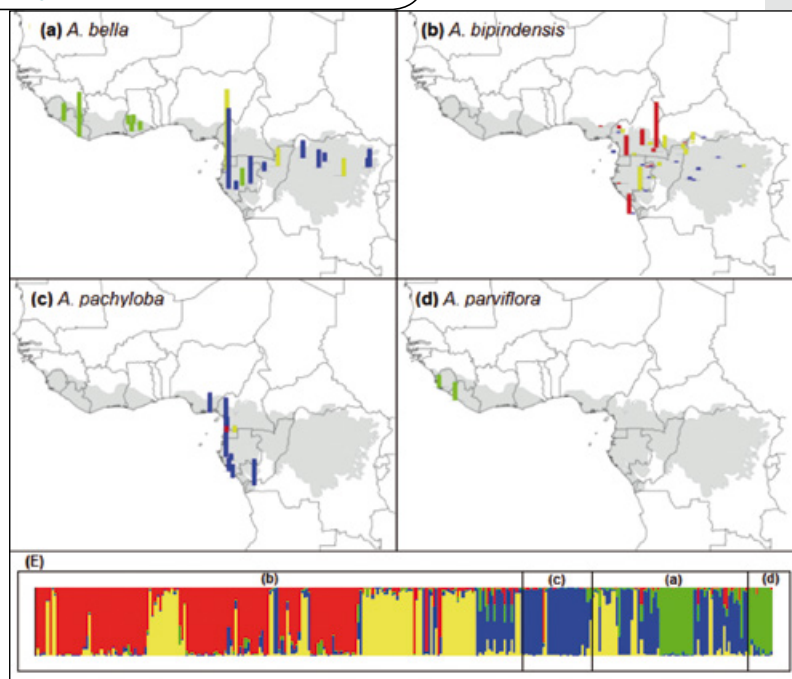
El género *Afzelia* Smith comprende siete especies africanas de árboles que se distribuyen del siguiente modo: dos en la región zambeziana, una en la sudanesa y cuatro en la región guineano-congoleña. Estos taxones, de gran valor comercial, se confunden fácilmente unos con otros y, por ello, se comercializan con el mismo nombre: "doussié" o "afzelia". Esta dificultad de identificación podría perjudicar el manejo sostenible de las poblaciones.

El objetivo de esta tesis doctoral es caracterizar la historia evolutiva del género *Afzelia*. En concreto, este estudio tiene como objeto: a) evaluar el nivel de divergencias morfológicas dentro de este género y describir las relaciones filogenéticas para cuantificar el aislamiento reproductivo entre taxones de *Afzelia*, poniendo de manifiesto el papel de los cambios climáticos pasados y/o de los gradientes ecológicos en la especiación; b) realizar un detallado análisis de la diversidad y estructuración genética espacial de *Afzelia* spp.; c) identificar y describir los factores ecológicos, bióticos y abióticos que pueden influir en los flujos génicos a nivel de la población de una especie de *Afzelia* (*A. bipindensis*).

Se efectuó un análisis morfogenético de las especies que confirmó la gran proximidad botánica entre los taxones. Las especies de sabana han resultado ser diploides y con la mitad del tamaño del genoma de las especies forestales que son, por tanto, tetraploides. Las filogenias de los genes nucleares y cloroplásticos difieren entre sí. Dichas diferencias pueden haber sido generadas por episodios de hibridación ancestral entre especies. Estas hibridaciones son probablemente antiguas y habrían surgido entre linajes de especies forestales y de *A. quanzensis* (especie de la sabana zambeziana). La poliploidía habría aparecido entre los 7 y 9,4 millones de años de la historia evolutiva del género. Además, una asignación bayesiana y análisis de aislamiento reproductivo sugirieron la existencia de cruzamientos interespecíficos, pero sólo en las especies forestales distribuidas simpátricamente. A escala espacial más limitada, se observaron dos grupos genéticos bien diferenciados de *A. bipindensis* en simpatria. Estos presentan una diferenciación morfológica y un desfase fenológico de la floración que puede contribuir a su aislamiento reproductivo.

Este estudio puso de manifiesto algunos puntos importantes como: el descubrimiento de un complejo poliploide en el género *Afzelia*, la confirmación de la delimitación de las especies diploides de las sabanas y la necesidad de revisar la taxonomía de las especies tetraploides forestales.

**Palabras clave:** *Afzelia* spp., filogenia, filogeografía, estructura y diversidad genética, poliploidía, flujo de genes, fenología, sabana, bosques tropicales, África tropical.

**Figure 1.**

Mélange génétique entre les quatre espèces d'*Afzelia* des forêts tropicales humides en Afrique. Structures agrégatives en grappes génétiques (E) détectées dans *A. bella* (a), *A. bipindensis* (b), *A. pachyloba* (c) et *A. parviflora* (d) en utilisant l'algorithme de classification bayésien implémenté dans STRUCTURE (K = 4). Les quatre structures agrégatives en grappes génétiques sont présentées sous forme d'histogrammes (avec le pourcentage individuel). Couleur rouge : classe génétique (GC) 1 ; jaune : GC4 ; bleu : GC3 ; vert : GC2.

Genetic admixture among the four *Afzelia* rain-forest species in Africa. Genetic clusters (E) detected in *A. bella* (a), *A. bipindensis* (b), *A. pachyloba* (c) and *A. parviflora* (d) using the Bayesian clustering algorithm implemented in STRUCTURE (K = 4). The four genetic clusters are presented as histograms (with individual percentages). Red: Genetic Cluster (GC) 1; yellow: GC4; blue: GC3; green: GC2.

Mezcla genética entre las cuatro especies de *Afzelia* de las selvas tropicales húmedas en África. Estructuras de agregación en grupos genéticos (E) detectadas en *A. bella* (a), *A. bipindensis* (b), *A. pachyloba* (c) y *A. parviflora* (d) utilizando el algoritmo de clasificación bayésiano implementado en STRUCTURE (K = 4). Las cuatro estructuras de agregación en grupos genéticos se presentan como histogramas (con el porcentaje individual). Color rojo: clase genética (GC) 1; amarillo: GC4; azul: GC3; verde: GC2.

**Photo 1.**

Gousse et graines d'*Afzelia bipindensis* récoltées à Mayumba au Gabon. Fruit en gousse de 8 à 20 cm de long et 5 à 8 cm d'épaisseur, contenant une douzaine de graines de 2 à 5 cm de long. *A. bipindensis* est un arbre de 40 m de hauteur avec un tronc cylindrique sans branche de 25 m de long. Cette espèce produit un bois très stable, durable et dense (800 à 950 kg/m<sup>3</sup> à 12 % d'humidité), peu sensible à l'humidité avec un faible retrait et une bonne résistance aux xylophages et champignons.

Pod and seeds of *Afzelia bipindensis* harvested in Mayumba in Gabon. Fruit in pods 8 to 20 cm in length and 5 to 8 cm thick, each containing a dozen seeds 2 to 5 cm in length. *A. bipindensis* is a tree growing to 40 m in height with a cylindrical trunk 25 m in length before branching. The species produces a very stable, durable and dense wood (800 to 950 kg/m<sup>3</sup> at 12% humidity), with low sensitivity to moisture, low shrinkage and good resistance to wood borers and fungi.

Vainas y semillas de *Afzelia bipindensis* cosechadas en Mayumba (Gabón). Fruto en vaina de 8 a 20 cm de largo y de 5 a 8 cm de grosor, que contiene una docena de semillas de 2 a 5 cm de largo. *A. bipindensis* es un árbol de 40 m de altura con un tronco cilíndrico sin ramas de 25 m de largo. Esta especie produce una madera muy estable, resistente y densa (800 a 950 kg/m<sup>3</sup> al 12% de humedad), poco sensible a la humedad, con baja contracción y una buena resistencia a xilófagos y hongos.

Photo S. A. L. Donkpegan.

**Grade et diplôme :** Docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique.

**Université :** Gembloux Agro-Bio Tech - Université de Liège, Belgique.

**Date de soutenance :** 3 juillet 2017.

**Direction et encadrement :** Professeur J.-L. DOUCET (Promoteur, Gembloux Agro-Bio Tech - Université de Liège, Belgique),  
Docteur O. HARDY (Copromoteur, Université Libre de Bruxelles, Belgique).

**Composition du jury**

**Président :** Professeur P. LEJEUNE, Président du Département BIOSE.

**Membres :** Professeur G. MAHY (Gembloux Agro-Bio Tech - Université de Liège, Belgique), Docteur A. FAYOLLE (Gembloux Agro-Bio Tech - Université de Liège, Belgique), Docteur M. HEUERTZ (INRA, France), Docteur J. DEGREEF (Jardin Botanique de Meise, Belgique).

**Langue de rédaction :** français et anglais.

**Accès au manuscrit :** [orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/212437/1/Donkpegan\\_thesis\\_2017.pdf](http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/212437/1/Donkpegan_thesis_2017.pdf)

**Contact :**

Cirad, Bios, UMR AGAP, TA A-108, 3, avenue Agropolis,  
34398 Montpellier Cedex 5, France.

Gembloux Agro-Bio Tech - Université de Liège, Passage des Déportés, 2,  
5030 Gembloux, Belgique.

[armel.donkpegan@cirad.fr](mailto:armel.donkpegan@cirad.fr)