

Bois & forêts

des tropiques

1^{er} trimestre 2019
n° 339



Rédacteurs en chef

Jacques Tassin
Jean-François Trébuchon

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 Douma (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

Ilona Bossanyi
Anna Lon Quintana

Service de presse

Sylvie Vago
Laurence Campas

Webmestre

Jean-François Trébuchon

Directeur de publication

Michel Eddi

Relecteurs ayant contribué à l'évaluation des articles en 2018/ Reviewers who have contributed to the evaluation of articles in 2018

Younes Abbas, Zine El Abidine Abdenbi, Mohamed Abouazza, Kossi Adjonou, Michael Altgen, Siham Amirou, A. E. Assogbadjo, Gilbert Atindogbe, Pieter Baas, Wadi Badri, Jean Bakouma, Jérôme Ballet, Brigitte Bastide, Hans Beeckman, Aicha Belkebir, Moacyr Bernardino Dias Filho, Apollinaire Biloso Moyene, Fidèle Bognounou, Hassen Boukerker, Erol Burdurlu, Rafael Calama, Charles de Cannière, Stéphanie Carrière, Shakti Chauhan, Augusta Costa, Guy Costa, Pierre Couteron, Xavier Déglise, Philippe Deleporte, Abdala Diedhiou, Sara Dieng, Tahir Diop, Abdoulaye Diouf, Marra Douma, Charles Doumenge, Stéphane Dupuy, Saliou Fall, Belarmain Fandohan, Abdoun Fatiha, Adeline Fayolle, Paulo Fernandes, Noël Fonton, Jean Cossi Ganglo, Kaurent Gazull, Jean Gérard, Mohamed Ghefar, Jean-Marc Gion, Philippe Girard, Denis Gnanguenon-Guesse, Valéry Gond, Gérard Gouwakinnou, Stéphane Grelier, Stéphane Guitet, Arnaud Guidal, Jacques Hébert, Matieu Henry, Patrick Heuret, Mipro Hien, Irina Ioannou, Rafiqul Islam, Christophe Jourdan, André de Kesel, Paul Kessler, Dalila Kherkouche, Kouami Kokou, Adzo Kokutse, Kouadio Boniface Komena, Christian Kull, Kishan Kumar, Patrick Langbour, Nassima Lassouane, Bruno Locatelli, Bohdan Lojaka, Dominique Louppe, Tolérant Lubalega, Charalampos Lykidis, Amar Madoui, Bernard Mallet, Rémy Marchal, Jean-Noël Marien, Antonín Martíník, Momar Mbaye, Vincent Medjibe, Anne Mette Lykke, Quentin Meunier, Laurence Mondolot, Daniel Mousain, Emmanuel Mvula, Tuyeni Mwampamba, Jonas Ngohouho Poufoun, Roger Nguoufo, Régis Peltier, François Pinta, Robert van der Plas, Khelaff Rabhi, Canella Radea, Manitra Rakotoarivelo, Delphin Randriamiharisoa, Mbolatiana Ranjevasoa, Franck Richard, Bernard Riera, Emilio de los Ríos Ibarra, Jean-Noël Rivière, Jacques Rondeux, Vivien Rossi, Slim Saïdi, Oumarou Sambare, Klas Sander, Mariola Sanchez-Gonzalez, Patrice Savadogo, Steve Sepp, Ian Suckling, Jacques Tassin, Michel Tchotsoua, Emmanuel Torquebiau, Marc Vandenhoute, Ghislain Vieilledent, Romain Walcker, Wim Willems, Roberto Zanuttini, Leo C. Zulu, Xia Zuzhang.

Accès gratuit aux articles en **version électronique** sur le site web :

revues.cirad.fr

© Bois et forêts des tropiques © Cirad

ISSN 0006-579X

Dépôt légal : mars 2019

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



Sciages de bois de *Entandrophragma cylindricum* prêts pour être exportés.
Photo N. Bourland.

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, 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

- Une éthique éditoriale et une intégrité scientifique au service du Sud** 3
Editorial ethics and scientific integrity to serve the interests of the South
Una ética editorial y una integridad científica al servicio del Sur
 J. TASSIN

LE POINT SUR...

- Description de la collection de bois Cirad à Montpellier, France, qui représente huit mille espèces identifiées** 7
 P. LANGBOURG, S. PARADIS, B. THIBAUT
- Des confusions entre espèces préjudiciables à la gestion durable des essences forestières : l'exemple des acajous d'Afrique (*Khaya*, Meliaceae)** 17
 U. G. BOUKA DIPELET, C. DOUMENGE, J. J. LOUMETO, J. FLORENCE, C. GONMADJE, D. MCKEY
- Dépendance socioculturelle des connaissances locales des usages de *Isobertinia* spp. au Moyen-Bénin, Afrique de l'Ouest** 33
 S. G. C. ADJAHOSSOU, D. T. HOUÉHANOU, M. TOYI, V. K. SALAKO, C. C. AHOYO, P. LESSE, B. TENTE, M. R. B. HOUINATO
- Tarifs et tables de cubage d'arbres individuels du pin d'Alep, *Pinus halepensis* Mill., dans l'Aurès algérien** 45
 M. GOUBI, A. BENTOUATI, D. KHERCHOUCHE, T. SGHAIER
- Connaissances et usages de *Cola millenii* K. Schum. (Malvaceae) en zones guinéenne et soudano-guinéenne au Bénin** 61
 I. F. LAWIN, T. HOUËTCHÉGNON, A. B. FANDOHAN, V. K. SALAKO, A. E. ASSOGBADJO, C. A. OUINSAVI
- Enjeux et amélioration de la gestion des espèces du genre *Entandrophragma*, arbres africains devenus vulnérables** 75
 E. KASONGO YAKUSU, D. LOUPPE, F. MONTHE, O. J. HARDY, F. B. MBELE LOKANDA, W. HUBAU, J. VAN DEN BULCKE, J. VAN ACKER, H. BEECKMAN, N. BOURLAND

RÉSUMÉ DE THÈSE

- Structuration de la biodiversité des forêts africaines et changements climatiques : une étude à travers le genre *Khaya* (Meliaceae)** 95
 U. G. BOUKA DIPELET

VOS LECTURES

- Mémento du forestier tropical.** MILLE G. (coord.) LOUPPE D. (coord.), Éditions Quæ. 60
Atlas des bois tropicaux - Caractéristiques technologiques et utilisations. 97
 GÉRARD J. (coord.), GUIBAL D., PARADIS S., CERRE J.-C., Éditions Quæ.

INTERNATIONAL CONFERENCES

- 4th World Congress on Agroforestry. Strengthening links between science, society and policy.** 98
 20-22 May 2019, Montpellier, France. CIRAD, World Agroforestry Centre, INRA, AGROPOLIS International, Montpellier Université Excellence.





EDITORIAL

- Editorial ethics and scientific integrity to serve the interests of the South** 3
Une éthique éditoriale et une intégrité scientifique au service du Sud
Una ética editorial y una integridad científica al servicio del Sur
J. TASSIN

FOCUS ON...

- Description of the Cirad wood collection in Montpellier, France, representing eight thousand identified species** 7
P. LANGBOURG, S. PARADIS, B. THIBAUT
- Adverse effects of confusion between forest species on sustainable management: the example of African mahoganies (*Khaya*, Meliaceae)** 17
U. G. BOUKA DIPELET, C. DOUMENGE, J. J. LOUMETO, J. FLORENCE, C. GONMADJE, D. MCKEY
- Sociocultural reliance on local knowledge of the uses of *Isoberlinia* spp. in Central Benin, West Africa** 33
S. G. C. ADJAHOSSOU, D. T. HOUÉHANOU, M. TOYI, V. K. SALAKO, C. C. AHOYO, P. LESSE, B. TENDE, M. R. B. HOUINATO
- Volume tables for individual specimens of Aleppo pine, *Pinus halepensis* Mill., in Algeria's Aurès mountains** 45
M. GOUBI, A. BENTOUATI, D. KHERCHOUCHE, T. SGHAIR
- Knowledge and uses of *Cola millenii* K. Schum. (Malvaceae) in the Guinean and Sudano-Guinean zones of Benin** 61
I. F. LAWIN, T. HOUËTCHÉGNON, A. B. FANDOHAN, V. K. SALAKO, A. E. ASSOGBADJO, C. A. OUIINSAVI
- Improved management of species of the African *Entandrophragma* genus, now listed as vulnerable** 75
E. KASONGO YAKUSU, D. LOUPPE, F. MONTHE, O. J. HARDY, F. B. MBELE LOKANDA, W. HUBAU, J. VAN DEN BULCKE, J. VAN ACKER, H. BEECKMAN, N. BOURLAND

ACADEMIC THESIS ABSTRACT

- Climate change and the structure of African forest biodiversity: a study based on the distribution of the *Khaya* genus (Meliaceae)** 95
G. U. BOUKA DIPELET

BOOK REVIEW

- Mémento du forestier tropical.** MILLE G. (coord.) LOUPPE D. (coord.), Éditions Quæ. 60
Atlas des bois tropicaux - Caractéristiques technologiques et utilisations. 97
GÉRARD J. (coord.), GUIBAL D., PARADIS S., CERRE J.-C., Éditions Quæ.

INTERNATIONAL CONFERENCES

- 4th World Congress on Agroforestry. Strengthening links between science, society and policy.** 98
20-22 May 2019, Montpellier, France. CIRAD, World Agroforestry Centre, INRA, AGROPOLIS International, Montpellier Université Excellence.

Une éthique éditoriale et une intégrité scientifique au service du Sud

Jacques TASSIN

Au-delà de ses spécificités thématiques ou partenariales, la revue *Bois et Forêts des Tropiques* poursuit une ambition qui est chère à son équipe éditoriale et à l'établissement qui l'héberge. Elle promeut la publication de résultats d'une recherche collaborative qui soit (i) produite avec des chercheurs du Sud, (ii) appliquée au développement du Sud, (iii) et donc accessible aux professionnels du Sud. Ce dénominateur commun tient de l'éthique du Cirad, dont l'acronyme nous rappelle qu'il s'agit bien de faire valoir une *Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement*. Voilà qui ne peut être sans lien avec l'attachement de notre revue au respect de l'intégrité scientifique, cette forme de conduite intègre et honnête appelée à présider dans toute activité scientifique, en tant que condition de la qualité de la connaissance produite.

Nous gardons en effet l'ambition de promouvoir la reconnaissance internationale de la recherche conduite au Sud et, du mieux possible, par le Sud. Nous nous appliquons à aider de jeunes chercheurs du Sud, parfois peu expérimentés, à se familiariser avec l'exercice normatif et exigeant de la publication scientifique. Les articles rédigés par des scientifiques dont le patronyme renvoie à un pays déshérité ont, nous le savons, moins de chances d'être lus, puis d'être cités par leurs pairs des pays mieux lotis (Harris *et al.*, 2017). Notre revue est en outre tenue de surnager dans un océan hypercompétitif, où les logiques éditoriales, sous-tendues par des logiques commerciales, accordent peu de crédit aux revues scientifiques qui, contre vents et marées, s'attachent à faire valoir la reconnaissance des chercheurs démunis. En dépit de ces contraintes que nous estimons plutôt absurdes, nous ne perdons pas de vue nos attachements aux valeurs qui fondent notre établissement. Voilà pour notre éthique.

Mais défendre une telle éthique, c'est aussi devoir défendre l'intégrité scientifique. Dans la logique d'excellence qui prévaut actuellement dans la communauté de recherche, selon les déterminants en cours des évolutions de carrière et selon les indices les plus conventionnels de l'évaluation de la recherche, exagérément quantitatifs, nous savons que les revues de recherche appliquée au développement ne sont pas les mieux considérées. Nous n'ignorons pas cependant que le Cirad est signataire de la convention Dora sur l'évaluation de la recherche, qui défend le principe de ne plus utiliser les métriques de revues, tel le facteur d'impact, pour mesurer la qualité des articles de recherche ou pour évaluer les contributions d'un chercheur à la production de connaissances. L'objet de *Bois et Forêts des Tropiques* n'est assurément pas, selon une logique comptable, d'enrichir et de faire fructifier un capital éditorial. Il est de diffuser des résultats de recherche susceptibles d'impacter favorablement le développement. Nous sommes fiers de disposer d'un facteur

d'impact, mais nous ne nous leurrerons pas sur les valeurs qu'un tel indice engage (Seglen, 1997).

Nous restons profondément attachés à l'éthique collaborative qui est la raison d'être d'une revue scientifique du Cirad. La défense de cette éthique collaborative n'est, certes, pas toujours aisée. Les chercheurs du Nord comme du Sud, pressés par des injonctions sociales qui mériteraient d'être mieux analysées, se sentent voués à *plus* publier plutôt qu'à *mieux* publier, et cèdent alors parfois à des mirages malmenant leur propre intégrité scientifique. Les inconduites scientifiques sont devenues, nous n'en sommes pas dupes, une stratégie de survie au sein d'organismes de recherche de plus en plus sélectifs, voire de notoriété virtuelle, au Nord comme au Sud. Ne nous attardons pas sur de telles dérives qui, nous sommes bien placés pour le savoir, se multiplient année après année, sous des formes de plus en plus diverses : recours au plagiat, fabrication ou falsification de données, oubli ou ajout d'un auteur non consulté, signatures de complaisance, émiettement des publications, manipulations statistiques, filtrage des références bibliographiques, etc. Autant de raisons de refuser une partie des manuscrits qui nous parviennent, pour des raisons qui nous laissent alors plutôt amers, mais nous conduisent à nous montrer très fermes, car l'intégrité scientifique ne se discute pas (Corvol, 2016).

Notre cap reste inchangé. Nous défendons le principe d'une revue gratuite, accessible à tous, préservée des logiques éditoriales de marché. Nous sommes fiers d'appartenir à un établissement qui ne mâche pas ses mots à l'égard des revues prédatrices qui se nourrissent des dérives de la recherche scientifique. Et nous sommes particulièrement heureux de constater que les chercheurs du Sud se mobilisent tout autant contre ces pratiques prédatrices désastreuses, aussi trompeuses que condamnables, auxquelles ils se savent particulièrement exposés, ainsi que le révèle cette étude cinglante, mais ô combien saine, de Matumba *et al.* (2019).

Il y a plus de vingt-cinq ans, le sociologue canadien Serge Larivée, auteur d'un rapport sur la fraude scientifique, avait déjà parfaitement entrevu les conséquences délétères d'une éthique scientifique négligente (Larivée et Baruffaldi, 1992) : « Il s'en faudrait peut-être de peu, particulièrement en période de récession, pour que les payeurs de taxes, influencés par la couverture journalistique sensationnaliste de quelques cas célèbres, contestent la masse budgétaire impartie à la recherche scientifique dans tel ou tel domaine ou même dans son ensemble. » Voilà qui nous invite à veiller plus attentivement encore à ce qu'en conformité avec le mandat de notre établissement, et au respect d'une éthique que nous défendons activement, notre belle revue ciradienne demeure autant collaborative qu'intègre.

Editorial ethics and scientific integrity to serve the interests of the South

Jacques TASSIN

Over and above the aspects that relate specifically to our topic areas and partnerships, our work at *Bois et Forêts des Tropiques* pursues an aim to which our editorial team and our host organisation attach particular importance. Our journal promotes the publication of results from collaborative research that are (i) produced with researchers from the South, (ii) applied to development in the South, and (iii) can therefore be accessed by professionals in the South. The common denominator stems from the ethics of the Cirad, which is the acronym for *Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement* – or Agricultural Research Centre for Development to give its English name. The link is clear with our journal's concern for scientific integrity – the term that refers to the honest and principled conduct that should govern every scientific endeavour as a prerequisite for the quality of the knowledge produced.

Our consistent ambition is to promote international recognition of research conducted in the South and, insofar as possible, by the South. We make every effort to help young researchers from the South, who sometimes have little experience, to become familiar with the demanding standards of scientific publishing. We know that articles published by scientists whose names evoke a disadvantaged country are less likely to be read and cited by their peers in wealthier countries (Harris *et al.*, 2017). Our journal, moreover, has to sink or swim in a hyper-competitive environment in which editorial lines with an underlying business logic give little credit to scientific journals that persist in battling the odds to gain recognition for disadvantaged researchers. Despite these constraints – which we believe to be absurd – we have never lost our attachment to the values that underpin the activities of our organisation. This, then, summarises our ethical position.

But upholding this ethical position also means upholding scientific integrity. We know that given the prevailing logic of excellence in the research community, with the career prospects it currently determines and its highly normalised and excessively quantitative research assessment criteria, journals publishing research applied to development are not the most highly regarded. We are also well aware that the Cirad has signed the Dora agreement on research assessments, which upholds the principle that journal metrics, such as the impact factor, should no longer be used to measure the quality of research articles or to assess a researcher's contributions to knowledge production. *Bois et Forêts des Tropiques* is not in the business of seeking to enrich its editorial capital for profit: our aim is to disseminate the results of research that can have a positive impact on development. We are proud of the impact factor that we have, but we harbour no illusions as to the values conveyed by an index of this kind (Seglen, 1997).

We remain deeply attached to the collaborative ethics that underpin the existence of a Cirad journal, but upholding these collaborative ethics is not always easy. Researchers from both North and South, pressured by injunctions from society that deserve better analysis, feel obliged to publish *more* rather than to publish *better*, and sometimes succumb to the temptations

of a mirage that will compromise their scientific integrity. Improper scientific conduct, as we are well aware, has become a strategy for survival in increasingly selective research organisations, and even for acquiring online reputations, in both North and South. We do not wish to elaborate on such abuses, which, as we know from first-hand experience, are increasing year by year in ever more diverse forms: plagiarism, fabricated or falsified data, omission or addition of authors who have not been consulted, grace-and-favour endorsements, piecemeal publications, statistical manipulations, filtered bibliographical references, etc. All these are reasons for rejecting some of the manuscripts we receive, and, bitter as this leaves us, it strengthens our resolve, because scientific integrity is not open to discussion (Corvol, 2016).

Our course stays unchanged. We uphold the principle of a publication which is available free of charge, accessible to all and free from the dictates of market-driven editorial policy. We are proud to work within an organisation that does not mince its words with regard to predatory journals that feed on abuses of scientific research. And we are more than glad to know that researchers from the South are taking up an equally strong stand against these disastrously deceitful and reprehensible practices to which they know they are particularly exposed, as revealed by the scathing but salutary study by Matumba *et al.* (2019).

More than twenty-five years ago, the Canadian sociologist Serge Larivée, the author of a report on scientific fraud, had already pointed to the pernicious effects of neglect for scientific ethics (Larivée et Baruffaldi, 1992): “it would not take much, especially in a time of economic recession, for taxpayers, under the influence of sensationalist press coverage of a few notorious cases, to start challenging the budgets allocated to scientific research, in particular fields or even in general”. This is a consideration that prompts us, in fulfilling our organisation's mandate and actively upholding its ethical stance, to take ever more care to ensure that this Cirad journal we value so highly continues to be at once collaborative and principled.

Una ética editorial y una integridad científica al servicio del Sur

Jacques TASSIN

Más allá de las particularidades en cuanto a la temática o a las alianzas, la revista *Bois et Forêts des Tropiques* tiene una ambición muy apreciada por su equipo y por el establecimiento que la acoge. Promueve la publicación de resultados de una investigación colaborativa (i) producida con investigadores del Sur, (ii) aplicada al desarrollo del Sur, (iii) y, por lo tanto, accesible a los profesionales del Sur. Este denominador común proviene de la ética de Cirad, cuyo acrónimo nos recuerda que se trata de hacer valer una cooperación internacional en investigación agronómica para el desarrollo (*Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement*). Esto no puede cumplirse sin el compromiso de nuestra revista hacia la integridad científica, la forma de conducta íntegra y honesta que debe presidir toda actividad científica, como condición de la calidad del conocimiento publicado.

Mantenemos, efectivamente, la ambición de promover el reconocimiento internacional de la investigación llevada a cabo en el Sur y, de la mejor manera posible, por el Sur. Nos esforzamos por ayudar a jóvenes investigadores del Sur, a veces poco experimentados, a familiarizarse con el marco normativo y exigente de la publicación científica. Los artículos redactados por científicos cuyo apellido remite a un país desfavorecido tienen, lo sabemos, menos posibilidades de ser leídos y luego ser citados por sus iguales de países más favorecidos (Harris *et al.*, 2017). Nuestra revista debe, además, pervivir en un océano hipercompetitivo, donde las lógicas editoriales, sostenidas por las lógicas comerciales, otorgan poco crédito a las revistas científicas que, contra viento y marea, se esmeran en hacer valer el reconocimiento de los investigadores poco conocidos. A pesar de estas limitaciones, que consideramos más bien absurdas, no perdemos de vista nuestra adhesión a los valores que identifican a nuestro establecimiento. Esto en referencia a nuestra ética.

Pero defender semejante ética también implica defender la integridad científica. En la lógica de la excelencia que predomina actualmente en la comunidad investigadora, según los determinantes en curso de las evoluciones de carrera y según los índices más convencionales de la evaluación de la investigación, exageradamente cuantitativos, sabemos que las revistas de investigación aplicada al desarrollo no son las mejor consideradas. No ignoramos, a pesar de ello, que Cirad es firmante de la convención Dora sobre la evaluación de la investigación, que defiende el principio de no utilizar más las métricas de revistas, como el factor de impacto, para medir la calidad de los artículos de investigación o para evaluar las contribuciones de un investigador en la producción de conocimiento. El objetivo de *Bois et Forêts des Tropiques* no es, por supuesto, enriquecer y hacer fructificar un capital editorial según una lógica contable. Su finalidad es difundir resultados de investigación susceptibles de impactar favorablemente en el desarrollo. Estamos orgullosos de disponer de un factor de impacto, pero no nos hacemos ilusiones sobre el valor que tal índice conlleva (Seglen, 1997).

Continuamos profundamente apegados a la ética colaborativa, que es la razón de ser de una revista científica de Cirad. La defensa de esta ética colaborativa no es, efectivamente, siempre fácil. Tanto los investigadores del Norte como del Sur, apremiados por las conminaciones sociales que deberían analizarse mejor, se sienten obligados a publicar *más* antes que a publicar *mejor*, y ceden a veces ante espejismos que llegan a poner en apuros su propia integridad científica. Las malas conductas científicas se han convertido, no seamos incautos, en una estrategia de supervivencia en el seno de organismos de investigación cada vez más selectivos, incluso de notoriedad virtual, tanto en el Norte como en el Sur. No nos demoremos en tales derivas que, tenemos una buena posición para saberlo, se multiplican año tras año de forma cada vez más diversa: plagio, fabricación o falsificación de datos, olvido o añadidura de un autor no consultado, firmas de complacencia, desmenuzamiento de las publicaciones, manipulaciones estadísticas, filtrado de referencias bibliográficas, etc. Todas estas derivas son motivo de rechazo de una parte de los manuscritos que nos llegan, por razones que nos dejan un regusto más bien amargo, pero nos permiten mantenernos firmes, ya que la integridad científica no se discute (Corvol, 2016).

Nuestro rumbo no ha cambiado. Defendemos el principio de una revista gratuita, accesible a todos, protegida de la dinámica del mercado editorial. Estamos orgullosos de pertenecer a un establecimiento que no se muerde la lengua ante revistas depredadoras que se alimentan de la deriva de la investigación científica. Y estamos especialmente contentos de constatar que los investigadores del Sur se movilizan igualmente contra estas prácticas depredadoras desastrosas, tan engañosas como condenables, a las que se encuentran particularmente expuestos, tal como revela este estudio mordaz, aunque sano, de Matumba *et al.* (2019).

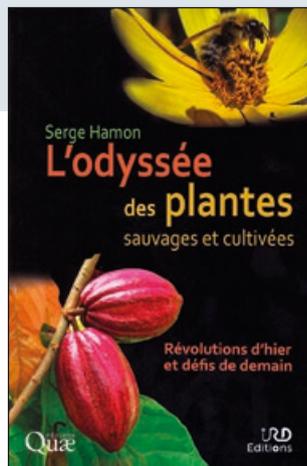
Hace más de veinticinco años, el sociólogo canadiense Serge Larivée, autor de un informe sobre el fraude científico, ya había vislumbrado perfectamente las consecuencias nocivas de una ética científica negligente (Larivée et Baruffaldi, 1992): «quizás falta poco, especialmente en período de recesión, para que los contribuyentes, influidos por la cobertura periodística sensacionalista de algunos casos célebres, cuestionen el volumen presupuestario concedido a la investigación científica en tal o tal dominio, o incluso en su conjunto». Ello nos invita a velar todavía más atentamente por que, de conformidad con la misión de nuestro establecimiento y con el respeto a la ética que defendemos activamente, nuestra querida revista de Cirad se mantenga tan colaborativa como íntegra.

Références bibliographiques

Bibliographic references

Referencias bibliográficas

- Corvol P., 2016. Bilan et propositions de mise en œuvre de la charte nationale d'intégrité scientifique. Rapport remis à Thierry Mandon, secrétaire d'État chargé de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 29 juin 2016, Paris, 63 p. <http://etico.iiep.unesco.org/fr/resource/bilan-et-propositions-de-mise-en-oeuvre-de-la-charte-nationale-dintegrite-scientifique>
- Harris M., Marti J., Watt H., Bhatti Y., Macinko J., Darzi A. W., 2017. Explicit bias toward high-income-country research: a randomized, blinded, crossover experiment of English clinicians. *Health Affairs*, 36 (11): 1997-2004. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2017.0773>
- Larivée S., Baruffaldi M., 1992. Les fraudes scientifiques. Rapport préliminaire. Université de Montréal, Conseil de recherche en sciences humaines du Canada, 239 p.
- Matumba L., Maulidi F., Balehegn M., Abay F., Salanje G., Dzimbiri L., *et al.*, 2019. Blacklisting or Whitelisting? Detering Faculty in Developing Countries from Publishing in Substandard Journals. *Journal of Scholarly Publishing*, 50 (2): 83-95. <https://doi.org/10.3138/jsp.50.2.01>
- Seglen P. O., 1997. Why the impact factor of journals should not be used for evaluating research. *British Medical Journal*, 314: 498-502. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2126010/>



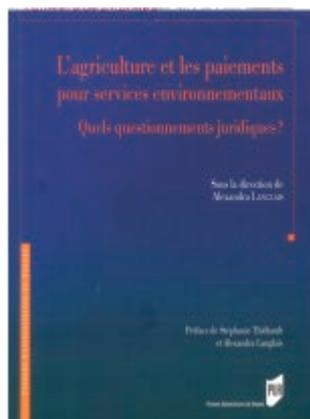
HAMON S., 2018. **L'ODYSSÉE DES PLANTES SAUVAGES ET CULTIVÉES : RÉVOLUTIONS D'HIER ET DÉFIS DE DEMAIN.** FRANCE, IRD ÉDITIONS, ÉDITIONS QUÆ, 367 P.

De tout temps, les plantes ont apporté à l'homme des biens essentiels tels que nourriture, boissons, médicaments, matériaux... Leur rôle est crucial dans le fonctionnement de notre planète grâce à leur aptitude à fournir de l'oxygène, à stabiliser les sols et capturer le dioxyde de carbone. Pourtant, que connaissons-nous d'elles ? Pour en savoir plus, l'auteur nous guide à travers le périple évolutif des plantes, depuis leur origine jusqu'à nos jours. Une véritable odysée marquée par les découvertes des premiers navigateurs, des botanistes, biologistes et généticiens qui, au fil des siècles, ont participé aux différentes révolutions scientifiques du monde végétal, jusqu'à celle toute récente de la génomique. Les sociétés elles-mêmes sont partie prenante de cette odysée à travers l'évolution de leur alimentation et de leurs pratiques agricoles, leur gestion de l'agrobiodiversité et leurs logiques marchandes. Accessible à tous, étudiants et enseignants, botanistes ou agriculteurs, jardiniers amateurs, ce livre retrace l'histoire au long cours des plantes et de l'homme, faite d'avancées décisives et de défis à relever sans cesse. Il contribue à une meilleure connaissance du monde végétal, préalable indispensable pour adapter l'agriculture de demain aux contraintes climatiques et répondre aux enjeux de la sécurité alimentaire mondiale.

Adapté du résumé de l'éditeur.

IRD Éditions, 32 avenue Henri-Varagnat,
93143 Bondy Cedex, France.
Éditions Quæ, RD 10, 78026 Versailles Cedex,
France.

www.editions.ird.fr
www.quae.com



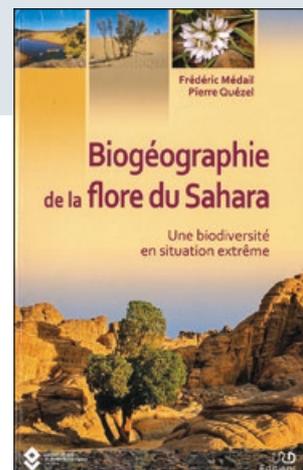
LANGLAIS A. (DIR), 2019. **L'AGRICULTURE ET LES PAIEMENTS POUR SERVICES ENVIRONNEMENTAUX : QUELS QUESTIONNEMENTS JURIDIQUES ?** FRANCE, PRESSES UNIVERSITAIRES DE RENNES, 448 P.

L'agriculture est un terrain fertile pour explorer les différentes facettes juridiques des paiements pour services environnementaux (PSE) dans la mesure où cet outil a reçu un écho important dans ce secteur et ce à plusieurs échelles d'action. Présenté sous un même vocable, il peut renvoyer à différentes formes d'expressions juridiques en raison de la diversité des acteurs impliqués et de la pluralité des services environnementaux concernés. Cet ouvrage bénéficie des analyses croisées de spécialistes de l'économie, de l'écologie, du droit de l'environnement, du droit de la PAC, du droit des marchés publics, du droit des contrats, du droit rural, du droit de la propriété, de l'anthropologie du droit, mais également des analyses de droit comparé.

Adapté du résumé de l'éditeur.

Presses Universitaires de Rennes, Campus de la Harpe, 2 rue du Doyen-Denis-Leroy,
35044 Rennes Cedex, France.

www.pur-editions.fr



MÉDAIL F., QUÉZEL P. **BIOGÉOGRAPHIE DE LA FLORE DU SAHARA : UNE BIODIVERSITÉ EN SITUATION EXTRÊME.** FRANCE, IRD, SUISSE, CONSERVATOIRE ET JARDIN BOTANIQUES DE GENÈVE, 368 P.

Bien que l'imaginaire saharien n'évoque pas *a priori* la notion de biodiversité, la flore du Sahara est néanmoins bien plus diversifiée qu'il n'y paraît. Tantôt barrière ou relais pour la dispersion des espèces, le Grand Désert est en effet riche d'une histoire biogéographique très originale, dont cet ouvrage donne une première synthèse. Depuis les premières explorations botaniques sahariennes de la fin du XIX^e siècle aux travaux pionniers du milieu du XX^e siècle jusqu'aux acquis biogéographiques les plus récents, l'ouvrage met en perspective l'organisation et l'évolution de la flore saharienne au sein d'un environnement changeant, tour à tour savane arborée puis terre d'une extrême aridité. Quelles sont la diversité et l'histoire de ce peuplement végétal peu connu ? Comment les flores méditerranéennes ou tropicales ont-elles pu migrer puis se maintenir dans les massifs sahariens ou sur les façades maritimes ? Quelles sont les conséquences des changements environnementaux passés et actuels ? Face aux enjeux de préservation de ce patrimoine naturel unique, l'ouvrage met l'accent sur la nécessité d'une véritable politique de conservation à l'échelle de cet immense désert. Région naturelle trop négligée par la recherche, le Sahara mérite d'être réinvesti par les sciences du vivant, et ce d'autant qu'il forme un laboratoire exceptionnel pour étudier l'impact des changements globaux en situation environnementale extrême. L'ouvrage, très documenté et abondamment illustré, fournira aux gestionnaires des milieux arides, aux écologues et biogéographes, aux enseignants et étudiants en biologie et en écologie, mais aussi aux naturalistes et simples voyageurs, un éclairage inédit sur la flore saharienne et son histoire.

Adapté du résumé de l'éditeur.

IRD Éditions, 32 avenue Henri Varagnat,
93143 Bondy cedex, France.
www.editions.ird.fr

Description of the Cirad wood collection in Montpellier, France, representing eight thousand identified species

Patrick LANGBOUR^{1,2}
Sébastien PARADIS^{1,2}
Bernard THIBAUT³

¹ CIRAD
UPR BioWooEB
34398 Montpellier
France

² BioWooEB
Univ Montpellier, CIRAD
Montpellier
France

³ LMGc
Univ Montpellier
CNRS
Montpellier
France

**Auteur correspondant /
Corresponding author:**
Bernard Thibaut –
bernard.thibaut@umontpellier.fr



Image of the wood collection (Xylotheque): open drawer with 3 rows of specimens.

Doi : 10.19182/bft2019.339.a31709 – Droit d'auteur © 2018, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 20 juin 2018 ; date d'acceptation : 9 octobre 2018 ; date de publication : 31 janvier 2019.



Licence Creative Commons :
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.
Attribution-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-ND 4.0)

Citer l'article / To cite the article

Langbour P., Paradis S., Thibault B., 2019. Description of the Cirad wood collection in Montpellier, France, representing eight thousand identified species. Bois et Forêts des Tropiques, 339 : 7-16. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2019.339.a31709>

RÉSUMÉ

Description de la xylothèque du Cirad à Montpellier, France, regroupant huit mille espèces identifiées

La xylothèque du Cirad est composée d'échantillons provenant de 34 395 arbres issus de 123 pays, appartenant à 235 familles, 2 160 genres et 8 385 espèces (dont 60 % sont représentées par plus d'un spécimen par arbre). Les espèces d'Afrique, d'Asie et d'Amérique représentent 85 % de la collection. Une description botanique des familles, genres et espèces les plus représentés a été faite dans les dix régions géographiques pour lesquelles il y a suffisamment d'échantillons (plus de 1 000). Ces régions comprennent neuf régions tropicales ou subtropicales et une grande entité appelée « Climat Froid du Nord » (NCC), qui couvre tous les pays de l'hémisphère nord ayant une saison froide marquée (climats boréal, alpin tempéré et méditerranéen). Les neuf régions tropicales et subtropicales ont plus ou moins les mêmes familles dominantes, mais différents genres dominants alors que les familles dominantes dans l'entité NCC diffèrent largement. La collection est décrite dans une base de données spécifique : échantillons de bois, sections et photographies avec leurs noms et provenance. La densité a été mesurée pour les deux tiers des spécimens (6 750 espèces). Dans l'ensemble, les valeurs de la densité ont une distribution presque normale dans une plage de 0,04 à 1,36, avec une médiane de 0,72 et un coefficient de variation (CV) de 28 %. La différence entre régions, quant à la distribution de la densité, est assez faible (valeurs moyennes variant de 0,66 à 0,76) avec un CV systématiquement élevé (26 % à 32 %). En examinant les familles, genres et espèces les mieux représentés, le CV moyen pour les familles (26 %) est similaire à celui des régions et beaucoup plus bas pour les genres (18 %) et espèces (13 %). L'éventail des densités augmente de la famille au genre et à l'espèce (0,53 à 0,86, 0,46 à 0,95, 0,23 à 1,07 respectivement). Dans l'article, les différents usages actuels et potentiels de la xylothèque sont discutés.

Mots-clés : xylothèque, espèces, genres, familles, provenance, densité du bois, collection de bois, base de données de bois, espèces tropicales, France.

ABSTRACT

Description of the Cirad wood collection in Montpellier, France, representing eight thousand identified species

The CIRAD wood collection, which was first awarded funding 80 years ago, now consists of specimens from 34,395 trees, 235 families, 2,160 genera and 8,385 species (of which 60% are represented by more than one specimen per tree) from 123 countries. Tropical species from Africa, Asia and South America make up 85% of the collection. Botanical descriptions have been made of the dominant families, genera and species in the ten geographical regions for which there are large enough collections (1,000+ specimens). These regions include nine tropical or subtropical regions and a large entity called "Northern Cold Climate" (NCC), which covers all northern hemisphere countries with a cold season (boreal, alpine temperate and Mediterranean climate). The nine tropical and subtropical regions have more or less the same dominant families but different dominant genera, while dominant families in the NCC entity differ widely. The collection is described in a specific data base: wood specimens, sections and photographs with their name and provenance. Specific Gravity (SG) has been measured in two thirds of all the specimens (6,750 species). Overall, SG values have a near normal distribution ranging from 0.04 to 1.36, with a median value of 0.72 and a 28% coefficient of variation (CV). The difference between regions in specific gravity distribution is quite small (mean values 0.66 to 0.76) with a consistently high CV (26% to 32%). Looking at the best represented families, genera and species, the mean CV for families (26%) is similar across regions and much lower for genera (18%) and species (13%). The SG range increases from family to genus to species (0.53 to 0.86, 0.46 to 0.95, 0.23 to 1.07 respectively). The different current and potential uses of the wood collection are discussed.

Keywords: xylotheque, species, genera, families, provenance, wood density, wood collection, wood database, tropical species, France.

P. LANGBOUR, S. PARADIS, B. THIBAUT

RESUMEN

Descripción de la colección de madera Cirad en Montpellier, Francia, que representa ocho mil especies identificadas

La colección de madera del Cirad consiste en muestras de 34 395 árboles, 235 familias, 2 160 géneros y 8 385 especies (60 % de los cuales están representados por más de una muestra por árbol) de 123 países. Las especies tropicales de África, Asia y Sudamérica constituyen el 85 % de la colección. Se han realizado descripciones botánicas de las familias dominantes, géneros y especies en diez regiones geográficas para las cuales hay colecciones suficientemente grandes (más de 1 000 muestras). Estas regiones incluyen nueve regiones tropicales o subtropicales y una gran entidad llamada «Clima frío del norte» (NCC), que abarca todos los países del hemisferio norte con una estación fría (climas boreal, alpino templado y mediterráneo). Las nueve regiones tropicales y subtropicales tienen más o menos las mismas familias dominantes, pero diferentes géneros dominantes; mientras que las familias dominantes en la entidad NCC difieren ampliamente. La colección se describe en una base de datos específica: muestras de madera, secciones y fotografías con su nombre y procedencia. La gravedad específica (SG) se ha medido en los dos tercios de las muestras (6 750 especies). Globalmente, los valores SG tienen una distribución casi normal en el rango de 0,04 a 1,36, con una mediana de 0,72 y un coeficiente de variación del 28 % (CV). La diferencia entre las regiones en una distribución de gravedad específica es bastante pequeña (valores medios de 0,66 a 0,76) con un CV consistentemente elevado (26 % a 32 %). Mirando las familias mejor representadas, géneros y especies, el CV medio para las familias (26 %) es similar en todas las regiones y mucho más bajo para los géneros (18 %) y especies (13 %). El rango SG aumenta de familia a género y a especie (0,53 a 0,86, 0,46 a 0,95, 0,23 a 1,07 respectivamente). En el artículo se analizan los diferentes usos actuales y potenciales de la colección de madera.

Palabras clave: xiloteca, especies, géneros, familias, procedencia, densidad de la madera, colección de madera, base de datos de madera, especies tropicales, Francia.

History and scope

The CIRAD wood collection (Xylotheque) was established rather recently (in 1937) when compared to other wood collections (Stern 1988; Cornish *et al.*, 2014; Lens, 2016), by Didier Normand, head of the wood anatomy laboratory at the former STBC (*Section Technique des Bois Coloniaux* or Colonial Wood Technical Section) at Nogent-sur-Marne, near Paris, France (Norman *et al.*, 2017). STBC was replaced by CTFT (*Centre Technique Forestier Tropical* or Tropical Forest Research Institute) in 1949, and then became part of CIRAD (*Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement* or French Agricultural Research Centre for International Development) in 1985. Alain Mariaux and Pierre Détienne were the subsequent curators of the Xylotheque, which was transferred to Montpellier in 1994.

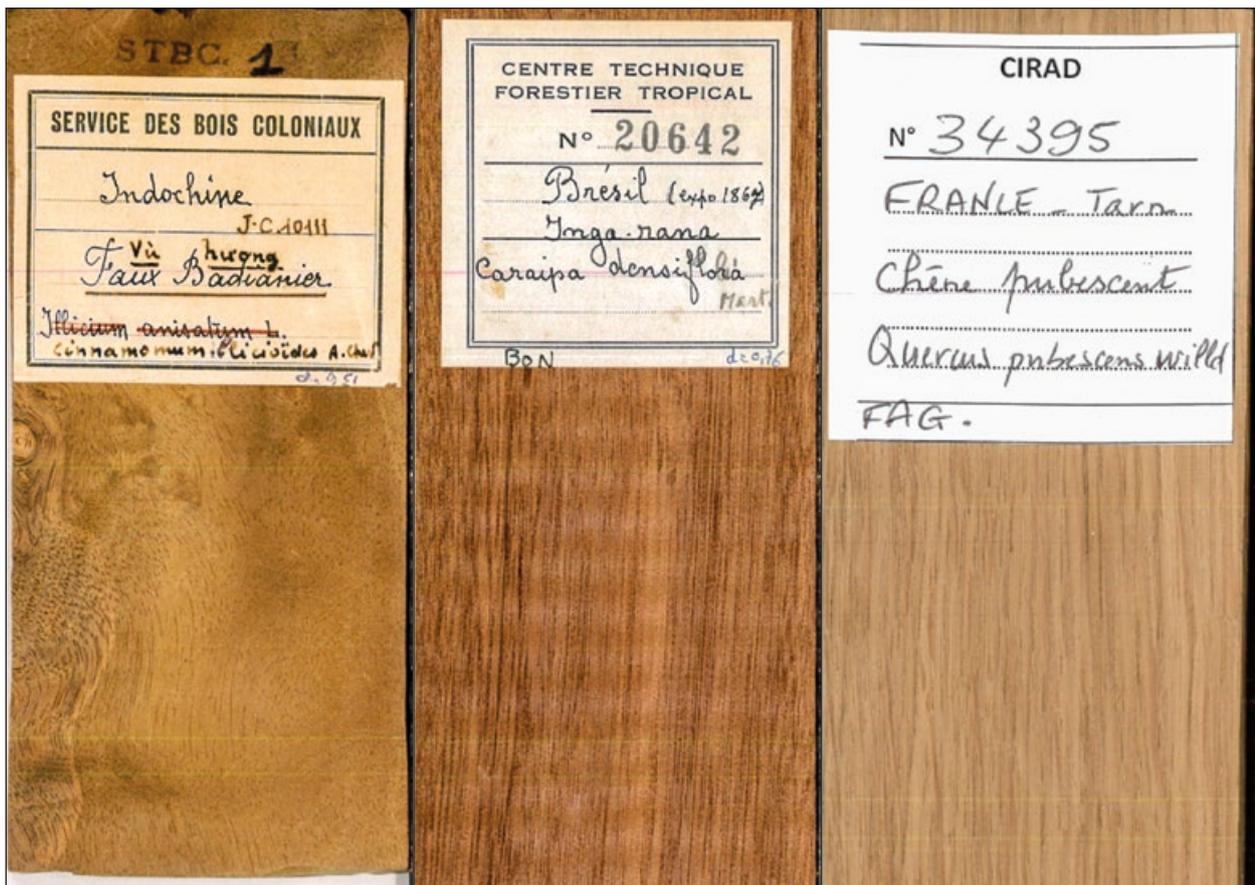
Systematics were not the primary objective for Cirad institution, although D. Normand and P. Détienne could be qualified as systematic wood anatomists. There was a close cooperation between them and the National Museum in Paris (Le Bras *et al.*, 2017) where most of the herbarium vouchers associated with wood specimens are stored. For the trees coming from French Guyana, herbarium vouchers are stored in the Cayenne herbarium (IRD), and there is a Xylotheque annex in the CIRAD wood laboratory in Kourou (French Guiana).

There was a strong collecting effort between 1950 and 1990 related to a general striving for knowledge and use of woods from the former French colonies in order:

- to help the huge building effort and the high demand of timber in France after the first and second World Wars;
- to cope with the large population growth after the second World War;
- to help in the development of wood industries in new independent countries at the beginning of the sixties.

At the outset, Didier Normand and other scientists took a pragmatic approach based on a reference number (CTFT id) given to trees (or logs from this tree) that were delivered to the CTFT facilities (sawmill and carpentry workshop). The numbers are given in ascending order from the beginning (1 to 34,395). This CTFT id. is the common reference for all wood specimens derived from the same tree, for the different wood property measurements including a group of “anatomical” specimens (usually 10 per tree). The first specimens (CTFT id. from one to some hundreds) were specimens from older collections when species identification was certified. The reference number was decided by the wood anatomy laboratory in relation to botanical identification, usually with Paris and Cayenne herbariums, and associated vouchers are positioned in these herbariums¹. For each of these CTFT ids there is a reference wood specimen (photos 1) in the basic collection (photos 2). Other anatomical specimens from the same tree (duplicates) are stored in a backup wood collection usable for exchanges and further scientific works.

¹ It should be noted that not all trees (CTFT id) have an identified associated voucher. This is the case for i) some samples coming from exchanges, ii) trees in great number from a same species, iii) other cases when identification was guaranteed for well known species, often from temperate countries. The information is given in the data base.



Photos 1.
 Sample pictures: CTFT id. 1, 20642 and 34395.

**Photos 2.**

Images of the wood collection (Xylotheque). Top left: drawer chest with the reference collection. Top right: open drawer with 3 rows of specimens. Bottom left: drawers with complementary specimens. Bottom right: drawer with slide collection.

Description of the collection

There are no specimens from shrubs or lianas in the collection, with very few exceptions. The very large majority are standard specimens (13 cm x 6 cm x 1 cm) with a label bearing the CTFT id., country of origin, botanical name and, sometimes, information on the origin (collector), the local name of the tree, and specific gravity of the specimen (photos 1 and 2).

In all, there are 34,395 specimens (CTFT id.) in the collection (table I) with 235 identified families, 2,160 identified genera and 8,385 identified species. Only 71 specimens (0.2%) are unidentified at family level and 281 specimens (0.8%) are identified only at family level (47 families). The number of specimens (trees) unidentified at the species level is much higher: 4,477 specimens (13%) from 779 genera. For the majority of trees not fully identified there is a majority of associated vouchers, more or less the same proportion as for fully identified ones. This happens mostly in families (Lauraceae for example) or genera (*Ocotea*, *Ravensara* for example) whose determination is difficult and many vouchers in herbarium are still waiting to be identified. The consultation from Paris and Cayenne herbariums makes it possible to progress on the reference of partially identified specimens.

For around 60% of the species there is at least one duplicate specimen (from 1 to 9 specimens per CTFT id.) stored in the supplementary collection. They can be used for further analysis in different fields (including destructive tests if necessary) or for exchanges with other collections.

There is also a similar number of off-cuts, portions of standard specimens after sectioning or sub-sampling operations for different uses (photos 2).

For most of the species, there are sections (7,007 microscope slides) for transmitted light microscopy in the 3 standard planes (TS, RLS and TLS). Around 3,000 micro photos at x25 magnification taken from these sections are stored in the same place (photos 2).

For rapid identification with the aid of a lens or stereo-microscope, small oriented cubes (1 x 1 x 1 cm) for around 70% of the collection are stored by CTFT id.

Filing cards with extensive information are available for each reference specimen.

Database

All the informative data and metadata on the collection are recorded in digital files since 1980; the process was initiated by Mariaux and Narboni (1996). The data files are regularly updated with: new specimens, change of botanical name due to nomenclature changes or revised identification of the herbarium voucher or the wood specimen. Reference web sites as Tropicos² or INPI³ (International Plant Names Index) are mostly used.

² Tropicos database: <http://www.tropicos.org>

³ INPI (International Plant Names Index) database: <https://www.ipni.org>

Table I.
General description of the collection.

Collection	Global	Gymno	Angio	Identified	SG ident.	H. voucher	Duplicate
Sample	34,395	931	33,364	28,566	19,289	18,620	18,221
Family	236	5	231	235	205	207	193
Genus	2206	42	2164	2,160	1,809	1,822	1,576
Species	9,213	250	8,963	8,355	6,570	6,777	5,308

Global: all CTFT references; Gymno: gymnosperm references; Angio: angiosperm references; Identified: totally identified sample at species level; SG ident.: identified sample with specific gravity (SG) measurement; H. voucher: sample associated to herbarium voucher; Duplicate: CTFT reference with at least one replicate; Sample: number of CTFT references; Family: number of documented family; Genus: number of documented genus; Species: number of documented species.

Geographical distribution of the specimens

There are 6 tables within the database:

- a collection table, which is merely a transcription of registering notebooks with 10 fields: CTFT id., country of provenance, local name, codified botanical identification (3 letters and 9 figures), herbarium voucher occurrence, duplicate specimen number, technological test, collector or collection origin (name + code), and other information;
- a family table with 2 fields: codified family (3 letters) and full name of the family;
- a species table with 2 fields: codified botanical name composed of 9 characters (3 letters for the family, 3 figures for the genus and 3 figures for the species) and full scientific denomination of the species;
- a provenance table (country) with 3 fields: codified country, name of the country, name of continent or subcontinent (list of 9 different names);
- a density table (specific gravity) with 2 fields: CTFT id. and specific gravity of the item measured more or less under standard climatic conditions (around 20 °C and 65% RH);
- a complementary table with 9 fields: CTFT id., storing address of associated reference slide, storing address of associated 2nd slide, storing address of associated 3rd slide, technological test number, presence of x25 magnification photos in TR plane, occurrence of both x25 magnification photos in the 3 standard planes and x55 magnification photos in TLS plane, presence of supplementary section associated with the technological test, presence of left over materials.

For the data associated to this paper (2 tabular files in CSV format in open access) most of important information including herbarium vouchers are kept, but not some data as the place where you can find photographs or sections.

All continents except the Antarctic are represented. Africa has the largest number of specimens (45.8%) followed by South America (30.5%), Asia (13.4%), Oceania (4.4%), North America (4.0%) and Europe (1.9%). There are specimens from 123 countries. The Republic of France, including Metropolitan France (Europe) and French overseas departments and territories, such as French Guiana, Guadeloupe, Martinique, Reunion Island, New Caledonia and French Polynesia, accounts for the largest number of specimens (6,120 including 3,654 from French Guiana) with around 1,500 native species and 100 exotic species (plantations).

The top ten countries considering the total number of specimens are France (17.9%), Madagascar (9.9%), Cameroon (7.3%), Gabon (6.7%), Ivory Coast (5.4%), Republic of the Congo (5.3%), Brazil (5%), Vietnam (3%), Ecuador (2.8%) and Suriname (2.6%).

Overall, 88% of the specimens can be described as tropical wood from dry or rain forests in Africa, Asia, America and Oceania. Temperate or Mediterranean species account for the remaining 12%.

In order to go further in the description of the collection, it was decided to separate the tropical and sub-tropical regions into 9 geographical entities accounting for a great number of specimens: Tropical East Africa (AfEst, 873 specimens), Tropical West Africa (AfTH, 9,668 specimens), Tropical Asia (AsTH, 2,842 specimens), Tropical America (AmTH, 8,300 specimens), Tropical Isles from the Indian Ocean (Mada, 3,851 specimens), Tropical Isles from the Caribbean sea (Cara, 1,424 specimens), Sub-tropical North Africa (AfSA, 922 specimens), Indian sub-continent (India, 780 specimens), and Oceania (Ocea, 1,526 specimens). Boreal, temperate and Mediterranean forests from the northern hemisphere have been grouped in a large entity called “Northern Cold Climate” (NCC, 2,788 specimens).

Table II.

Top ten families and total number of families for the different regions. In blue, global top ten families.

Family Order	Total	NCC	AfEst	AfSa	AfTH	AmTH	AsTH	Cara	India	Mada	Ocea
1	CES	PIN	CES	MIM	CES	CES	DIP	MEL	MIM	LAU	MYT
2	MIM	FAG	MIM	CES	MEL	FAB	CES	LAU	FAB	FAB	MIM
3	FAB	ROS	COB	FAB	MAL	LAU	MEL	FAB	COB	SAP	MEL
4	LAU	BET	FAB	COB	SAP	MIM	LAU	RUB	MEL	MAL	LAU
5	MEL	CUP	RUB	MEL	MIM	SAP	MAL	MYT	CES	MEL	SPI
6	SAP	SPI	EUP	MAL	RUB	LEC	ANA	CES	MOR	RUB	RUB
7	MAL	LAU	MEL	MYT	ANO	MOR	FAB	MIM	RUB	SPI	MAL
8	RUB	SAL	PHL	PHL	BUR	CHR	FAG	SAP	PIN	MYT	SAP
9	MYT	FAB	MAL	ANA	EUP	MAL	SAP	MAL	DIP	MIM	CAH
10	MOR	OLE	PRO	MOR	COB	VOC	MYT	BIG	MYT	CLU	PRO
Nb Families	235	136	85	57	104	131	110	90	80	109	93

ANA: Anacardiaceae; BET: Betulaceae; BIG: Bignoniaceae; CAH: Calophyllaceae; CES: Caesalpinoideae; CHAR: Chrysobalanaceae; CLU: Clusiaceae; COB: Combretaceae; CUP: Cupressaceae; EUP: Euphorbiaceae; FAB: Fabioidae; FAG: Fagaceae; LAU: Lauraceae; LEC: Lecythidaceae; LEC: Lecthidaceae; MAL: Malvaceae; MEL: Meliceae; MIM: Mimosoideae; MOR: Moraceae; MYT: Myrtaceae; OLE: Oleaceae; PHL: Phyllanthaceae; PIN: Pinaceae; PRO: Proteaceae; ROS: Rosaceae; RUB: Rubiaceae; SAL: Salicaceae; SAP: Sapotaceae; SPI: Sapindaceae; VOC: Vochysiaceae; AfEst: Tropical East Africa; AfTH: Tropical West Africa; AsTH: Tropical Asia Tropical; AmTH: Tropical America; Mada: Tropical Isles from the Indian Ocean; Cara: Tropical Isles from the Caribbean sea; AfSA: Sub-tropical North Africa; India: Indian sub-continent; Ocea: Oceania; NCC: Northern Cold Climate.

There is a clear over representation of former French overseas regions and former colonies in Africa, America and Oceania. The ten geographical entities that will be described are not representative of any ecological biome but just facilities for the collection description.

Botanical distribution of the specimens

The botanical classification used is the one presented by Stevens (2017) on the Missouri Botanical Garden website⁴.

Gymnosperms account for only 1,036 specimens, 6 families, 53 genera and 286 species (between 2% and 3% of the total in each category).

There are only 56 families with more than 100 specimens (24% of the families) but they account for 90% of the total number of specimens. The Leguminosae family (Mimosoideae, Caesalpinoideae and Faboideae sub families) is grouping more than 4,000 specimens (20% of all the specimens). The Meliaceae, Lauraceae, Sapotaceae and Malvaceae also amount to more than 1,000 specimens.

Within the top ten families (or sub families) at global level (table II), there are only a few major tropical families which have some representatives in temperate or

Mediterranean forests (Faboideae and Lauraceae, for example). Looking at the top ten families in each of the 10 geographical entities, NCC has a clearly different group with only 20% of families present in the global top ten, while all tropical and sub-tropical regions have between 60% and 90% of the most frequent families.

In the boreal, temperate, Mediterranean and sub-tropical forests of the northern hemisphere (NCC), Fagaceae and Pinaceae clearly dominate and it is the only region where gymnosperms are abundant. Between the 9 regions where tropical families dominate, there are some differences, and 4 regions do not have one of the top 3 for their own top family: South-East Asia where Dipterocarpaceae dominate, Madagascar, Caribbean and Oceania where it is the Lauraceae, Meliaceae and Myrtaceae which dominate, respectively.

Looking at genera (table III), their total number is always large (> 300) except for the “smaller” regions (AfEst, AfSa and India). Within the top ten genera at global or regional level, the differences are much greater than for the families, and no genus is the top one in more than one region. Most of these top ten consist of genera comprising numerous important commercial timbers, often emblematic of their region, such as *Quercus*, *Pinus*, *Acacia*, *Eucalyptus*, *Swietenia* or *Khaya*, *Diospyros*, *Shorea*, *Entandophragma*, or *Dalbergia*.

The top 10 genera in the column “Total” have colors which are kept in the regional columns in order to see whether they are still present in the top 10 genera of this region.

⁴ Missouri Botanical Garden website:
<https://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>

Table III.

Top ten genera and total number of genera for the different regions. The top 10 genera in the column “Total” have colors which are kept in the regional columns in order to see whether they are still present in the top 10 genera of this region.

Order	Total	NCC	AfEst	AfSa	AfTH	AmTH	AsTH	Cara	India	Mada	Ocea
1	<i>Terminalia</i>	<i>Quercus</i>	<i>Combretum</i>	<i>Albizia</i>	<i>Entandrop.</i>	<i>Licania</i>	<i>Shorea</i>	<i>Swietenia</i>	<i>Terminalia</i>	<i>Dalbergia</i>	<i>Eucalyptus</i>
2	<i>Diospyros</i>	<i>Pinus</i>	<i>Acacia</i>	<i>Acacia</i>	<i>Terminalia</i>	<i>Pouteria</i>	<i>Dipterocar.</i>	<i>Zanthoxy.</i>	<i>Acacia</i>	<i>Ravensara</i>	<i>Acacia</i>
3	<i>Dalbergia</i>	<i>Acer</i>	<i>Brachystegia</i>	<i>Pterocarpus</i>	<i>Dacryodes</i>	<i>Ocotea</i>	<i>Hopea</i>	<i>Tabebuia</i>	<i>Syzygium</i>	<i>Cryptocarya</i>	<i>Calophyllum</i>
4	<i>Albizia</i>	<i>Picea</i>	<i>Pterocarpus</i>	<i>Daniellia</i>	<i>Diospyros</i>	<i>Inga</i>	<i>Syzygium</i>	<i>Cordia</i>	<i>Dalbergia</i>	<i>Ocotea</i>	<i>Syzygium</i>
5	<i>Ocotea</i>	<i>Abies</i>	<i>Entandrop.</i>	<i>Ficus</i>	<i>Xylopia</i>	<i>Eschweilera</i>	<i>Diospyros</i>	<i>Sloanea</i>	<i>Albizia</i>	<i>Syzygium</i>	<i>Elaeocarpus</i>
6	<i>Entandrop.</i>	<i>Prunus</i>	<i>Monotes</i>	<i>Combretum</i>	<i>Celtis</i>	<i>Swartzia</i>	<i>Parashorea</i>	<i>Byrsonima</i>	<i>Ficus</i>	<i>Symphonia</i>	<i>Cryptocarya</i>
7	<i>Quercus</i>	<i>Fraxinus</i>	<i>Albizia</i>	<i>Khaya</i>	<i>Gilbertiod.</i>	<i>Vochysia</i>	<i>Tarrietia</i>	<i>Dacryodes</i>	<i>Toona</i>	<i>Terminalia</i>	<i>Melaleuca</i>
8	<i>Syzygium</i>	<i>Betula</i>	<i>Terminalia</i>	<i>Afzelia</i>	<i>Brachystegia</i>	<i>Virola</i>	<i>Dalbergia</i>	<i>Cedrela</i>	<i>Bauhinia</i>	<i>Albizia</i>	<i>Santalum</i>
9	<i>Pinus</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Commiphora</i>	<i>Detarium</i>	<i>Gambeya</i>	<i>Lecythis</i>	<i>Aglaia</i>	<i>Terminalia</i>	<i>Acer</i>	<i>Diospyros</i>	<i>Planchonella</i>
10	<i>Acacia</i>	<i>Populus</i>	<i>Ficus</i>	<i>Bombax</i>	<i>Prioria</i>	<i>Brosimum</i>	<i>Sindora</i>	<i>Hymenaea</i>	<i>Artocarpus</i>	<i>Weinmannia</i>	<i>Dysoxylum</i>

Acronyms for the different regions: AfEst: Tropical East Africa; AfTH: Tropical West Africa; AsTH: Tropical Asia Tropical; AmTH: Tropical America; Mada: Tropical Isles from the Indian Ocean; Cara: Tropical Isles from the Caribbean sea; AfSa: Sub-tropical North Africa; India: Indian sub-continent; Ocea: Oceania; NCC: Northern Cold Climate.

Table IV.

SG values for the different regions.

Region	Nb ref	SG min	SG max	SG mean	CV SG
AfEst	368	0.06	1.27	0.72	29%
AfSa	781	0.10	1.27	0.71	28%
AfTH	6,996	0.14	1.25	0.70	27%
AmTH	4,261	0.10	1.34	0.75	29%
AsTH	1,924	0.04	1.32	0.69	28%
India	422	0.26	1.20	0.67	27%
Cara	848	0.12	1.36	0.71	32%
Mada	3,076	0.11	1.30	0.76	26%
Ocea	946	0.16	1.28	0.71	29%
NCC	1,350	0.24	1.32	0.66	26%

Nb ref: number of specimens; SG mean: mean specific gravity (SG) value for the group; SG max: maximum specific gravity (SG) value for the group; SG min: minimum specific gravity (SG) value for the group; CV SG: coefficient of variation for SG values within the group; AfEst: Tropical East Africa; AfTH: Tropical West Africa; AsTH: Tropical Asia Tropical; AmTH: America America; Mada: Tropical Isles from the Indian Ocean; Cara: Tropical Isles from the Caribbean sea; AfSa: Sub-tropical North Africa; India: Indian sub-continent; Ocea: Oceania; NCC: Northern Cold Climate.

Table V.

SG values for families with at least 500 measured specimens.

Region	Nb ref	SG min	SG max	SG mean	CV SG
Euphorbiaceae	552	0.15	1.21	0.53	35%
Burseraceae	540	0.15	1.10	0.58	25%
Malvaceae	882	0.10	1.24	0.59	35%
Moraceae	591	0.20	1.32	0.61	31%
Meliaceae	1,028	0.30	1.21	0.64	21%
Lauraceae	902	0.28	1.25	0.66	23%
Annonaceae	523	0.21	1.10	0.66	29%
Mimosaceae	1,061	0.25	1.30	0.71	27%
Rubiaceae	723	0.29	1.13	0.73	20%
Caesalpiniaceae	2,291	0.28	1.36	0.78	24%
Fabaceae	913	0.06	1.30	0.81	26%
Sapotaceae	969	0.30	1.33	0.86	21%

Nb ref: number of specimens; SG mean: mean specific gravity (SG) value for the group; SG max: maximum specific gravity (SG) value for the group; SG min: minimum specific gravity (SG) value for the group; CV SG: coefficient of variation for SG values within the group.

Table VI.

SG values for genera with at least 149 measured specimens.

Species	Nb ref	SG min	SG max	SG mean	CV SG
<i>Ficus</i>	151	0.20	0.80	0.46	22%
<i>Ocotea</i>	190	0.36	0.97	0.60	18%
<i>Albizia</i>	222	0.30	0.97	0.62	19%
<i>Entandrophragma</i>	241	0.40	0.81	0.62	13%
<i>Dacryodes</i>	177	0.44	0.99	0.63	15%
<i>Xylopia</i>	181	0.27	1.08	0.73	25%
<i>Terminalia</i>	189	0.35	1.15	0.74	23%
<i>Syzigium</i>	183	0.45	1.09	0.78	13%
<i>Acacia</i>	149	0.44	1.24	0.85	22%
<i>Diospyros</i>	208	0.48	1.32	0.86	16%
<i>Dalbergia</i>	198	0.44	1.27	0.93	16%
<i>Pouteria</i>	162	0.49	1.33	0.95	17%

Nb ref: number of specimens; SG mean: mean specific gravity (SG) value for the group; SG max: maximum specific gravity (SG) value for the group; SG min: minimum specific gravity (SG) value for the group; CV SG: coefficient of variation for SG values within the group.

Table VII.

SG values for species with at least 40 measured specimens.

Species	Nb ref	SG min	SG max	SG mean	CV SG
<i>Musanga cecropioides</i>	40	0.14	0.48	0.23	31%
<i>Aucoumea klaineana</i>	62	0.31	0.64	0.41	16%
<i>Pycnanthus angolensis</i>	86	0.31	0.90	0.48	18%
<i>Coelocaryon preussii</i>	43	0.36	0.64	0.48	15%
<i>Swietenia macrophylla</i>	51	0.40	0.78	0.53	15%
<i>Scyphocephalum mannii</i>	44	0.34	0.77	0.54	17%
<i>Lovoa trichilioides</i>	42	0.43	0.80	0.55	13%
<i>Entandrophragma angolense</i>	61	0.42	0.80	0.58	14%
<i>Milicia excelsa</i>	56	0.43	0.73	0.60	12%
<i>Entandrophragma utile</i>	42	0.40	0.74	0.60	13%
<i>Entandrophragma cylindricum</i>	73	0.48	0.80	0.65	9%
<i>Tetraberlinia bifoliolata</i>	46	0.47	0.86	0.67	14%
<i>Piptadenia africana</i>	55	0.48	0.89	0.68	13%
<i>Cryptocarya thouvenotii</i>	42	0.51	0.83	0.69	11%
<i>Nauclea diderrichii</i>	46	0.56	0.84	0.72	8%
<i>Dicorynia guianensis</i>	47	0.59	0.93	0.77	10%
<i>Staudtia kamerunensis</i>	43	0.73	1.01	0.85	9%
<i>Lophira alata</i>	42	0.97	1.19	1.07	6%

Nb ref: number of specimens; SG mean: mean specific gravity (SG) value for the group; SG max: maximum specific gravity (SG) value for the group; SG min: minimum specific gravity (SG) value for the group; CV SG: coefficient of variation for SG values within the group.

Distribution of specific gravity

Specific gravity (SG) is the ratio between wood density (in kg/m^3) and water density under the same conditions. As the specific gravity of cell wall matter is 1.5, all wood SG should be below 1.5, with a direct relation to wood porosity and fiber wall thickness: high porosity and thin fibre walls imply low SG. Wood is part of the global class of cellular materials (mostly honeycombs), for which SG is a key parameter for most physical and mechanical properties (Gibson 2005). It is usual to consider SG as the most important descriptor for wood and it is used both by technologists (Forest Products Laboratory, 2010), ecologists (Chave *et al.*, 2006; Beeckmann, 2016; Baker *et al.*, 2004; Nock *et al.*, 2009) tree physiologists (Bossu *et al.*, 2016; Wiemann and Williamson, 1998) or foresters (Bouriaud *et al.*, 2004, 2005) in order to i) guide end uses, ii) look at phylogenetic variations among regions, iii) examine ontogenetic variation in wood formation or iv) analyse forest management impacts.

In the current data files, SG has been measured on 2/3 of all the specimens⁵. Overall, SG values have a near normal distribution ranging from 0.04 to 1.36, with a median value 0.72 and a standard deviation of 0.20, very similar to results in Détienne and Chanson (1996) for a large selection in the collection.

Within the specimens identified at species level (table I) there are 205 families (87% of all identified specimens), 1,809 genera (84%) and 6,750 species (79%). The mean SG value can be calculated for each of the species or genus, but for many of them there are few or very few specimens and the mean value has only a poor indicative value, as SG is often highly variable at species or tree level. SG distribution has only been examined for some populations with a large number of specimens:

- Region level (table IV). For the 10 regions, the number of measured specimens is below 500 for only 2 regions: AfEst (368) and India (422) and over 1,000 for half of them. The coefficient of variation (CV) is always high (26% to 32%), near the CV for the total collection (28%) and the mean values are rather close between regions (0.66 to 0.76), near the general mean (0.72).
- Family level (table V). Looking at the 12 large families grouping at least 500 measured specimens, the CV values are still very high (21% to 35%). However, the differences in mean values are greater (0.53 to 0.86).
- Genus level (table VI). Twelve genera are represented by at least 150 measured specimens. The coefficient of variation for SG values is lower than the CV for regions or families and more variable (13% to 25%). The differences in mean values are large (0.46 to 0.95).

- Species level (table VII). Eighteen species are represented by at least 40 measured specimens. The coefficient of variation for the SG values is lower than the CV for genera and much more variable (6% to 31%). The differences in mean values are very large (0.23 to 1.07).

Genus, and mostly species, distribution should be the main factor for differences between regions. It should be pointed out that variations can be high within a species and this is probably due to large variations within individual trees of species having large differences between juvenile and mature wood (Wiemann and Williamson, 1988).

Past and future uses of the collection

The main uses of the CIRAD collection have been i) to compile or contribute to compiling anatomy reference books (Normand, 1972; Normand and Paquis, 1976; Détienne *et al.*, 1982, Détienne and Jacquet 1983) and ii) help in identifying wood specimens for many purposes, such as trade (legal or illegal), justice, culture, history and archaeology (Wheeler, 1998; Gasson, 2011).

This will always be an important role and the existence of well preserved and identified specimens enables the testing of new tools for wood description, such as image analysis, 3D micro-tomography, or chemical spectroscopy.

Another very important field for the basic collection is the ability to measure useful properties by non-destructive methods, such as adsorption spectra using different light sources (X ray, UV or IR, for example), or methods using vibration or ultrasound stress.

Moreover, duplicate specimens for many species make it possible to build databases for many properties, such as shrinkage, strength, rot or insect resistance, as well as isolation and a description of the cocktail of extractives typical of each species, needing destructive tests adapted to small specimens.

Also, Xylaria or wood collections form part of our scientific and wood cultural heritage which can play a role in education and contribute to exhibitions and other museum activities.

⁵ Measurement of specific gravity was done directly on the samples in the collection office by simply measuring with a calliper the dimensions in the 3 directions and the mass on a laboratory balance. The uncertainty of measurement can be assumed as i) the sum of balance uncertainty (0.1%), and caliper uncertainties (1.5%) and ii) variations in sample moisture content (maximum 5%) inducing a complementary uncertainty of around 1.5%. The total uncertainty (3%) is always largely below the coefficient of variation within the species or even within the tree.

References

- Baker T. R., Phillips O. L., Malhi S., Almeida S., Arroyo L., Di Fiore A., Erwin T., *et al.*, 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, 10: 545-562. http://www.rainfor.org/upload/publication-store/itm_70/Baket%20TR%20et%20al%20GCB%202004.pdf
- Beeckmann H., 2016. Wood anatomy and trait-based ecology. *IAWA Journal*, 37 (2): 127-151. <https://doi.org/10.1163/22941932-20160127>
- Bossu J., Beauchêne J., Estevez Y., Duplais C., Clair B., 2016. New Insights on Wood Dimensional Stability Influenced by Secondary Metabolites: The Case of a Fast-Growing Tropical Species *Bagassa guianensis* Aubl. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150777>
- Bouriaud O., Bréda N., Le Moguédec G., Nepveu G., 2004. Modelling variability of wood density in beech as affected by ring age, radial growth and climate. *Trees*, 18: 264-276. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0303-x>
- Bouriaud O., Leban J.-M., Bert D., Deleuze C., 2005. Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree Physiology*, 25: 651-660. <https://doi.org/10.1093/treephys/25.6.651>
- Chave J., Muller-Landau H. C., Baker T. R., Easdale T. A., Ter Steege H., Webb C. O., 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Applications*, 16: 2356-2367. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2356:RAPVOW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2356:RAPVOW]2.0.CO;2)
- Cornisch C., Gasson P., Nesbitt M., 2014. The wood collection (*xylarium*) of the Royal botanic gardens, Kew. *IAWA Journal*, 35: 85-104. <https://doi.org/10.1163/22941932-00000050>
- Détienne P., Chanson B., 1996. L'éventail de la densité du bois des feuillus. *Bois et Forêts des Tropiques*, 250 : 19-30. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/19859>
- Détienne P., Jacquet P., 1983. Atlas d'identification des bois de l'Amazonie et des régions voisines. Centre technique forestier tropical (CTFT, Cirad), Nogent/ Marne, France. <http://agritrop.cirad.fr/172150/>
- Détienne P., Jacquet P., Mariaux A., 1982. Manuel d'identification des bois tropicaux – tome 3 : Guyane française. Centre technique forestier tropical (CTFT, Cirad), Nogent/ Marne, France. <http://agritrop.cirad.fr/322998/>
- Forest Products Laboratory, 2010. Wood handbook Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 508 p. <https://doi.org/10.2737/FPL-GTR-190>
- Gasson P., 2011. How precise can wood identification be? Wood anatomy's role in support of the legal timber trade, especially CITES. *IAWA Journal*, 32: 137-154. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000049>
- Gérard G., Narboni P., 1996. Une base de données sur les propriétés technologiques des bois tropicaux – Schéma d'organisation. *Bois et Forêts des Tropiques*, 248 : 65-69. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/19885>
- Gibson L. J., 2005. Biomechanics of cellular solids. *Journal of Biomechanics* 38: 377-399. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.09.027>
- Le Bras G., Pignal M., Jeanson M. L., Muller S., Aupic C., Carré B., *et al.*, 2017. Data Descriptor: The French Muséum national d'histoire naturelle vascular plant herbarium collection dataset. *Scientific Data*, 4: 170016. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.16>
- Lens F., 2016. Modern Index Xylariorum. <https://globaltimbertrackingnetwork.org/products/iawa-index-xylariorum/>
- Nock C. A., Geihofer D., Grabner M., Baker P. J., Bunyavejchewin S., Hietz P., 2009. Wood density and its radial variation in six canopy tree species differing in shade-tolerance in western Thailand. *Annals of Botany*, 104: 297-306. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp118>
- Normand D., 1972. Manuel d'identification des bois commerciaux – tome 1. Centre technique forestier tropical (CTFT, Cirad), Nogent/ Marne, France. <http://agritrop.cirad.fr/310716/>
- Normand D., Paquis J., 1976. Manuel d'identification des bois commerciaux – tome 2 : Afrique guinéo-congolaise. Centre technique forestier tropical (CTFT, Cirad), Nogent/ Marne, France. <http://agritrop.cirad.fr/322997/>
- Normand D., Mariaux A., Détienne P., Langbour P., 2017. CIRAD's wood collection. CIRAD. <https://doi.org/10.18167/xylotheque>
- Stern W. L., 1988. Index Xylariorum. Institutional wood collections of the world. 3. *IAWA Bulletin n.s.*, 9 (3): 203-252. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001072>
- Stevens P. F., 2017. Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>
- Wheeler E. A., Baas P., 1998. Wood identification – A review. *IAWA Journal*, 19: 241-264. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001528>
- Wiemann M. C., Williamson G. B., 1988. Extreme radial changes in wood specific gravity in some tropical pioneers. *Wood and Fiber Science*, 20: 344-349. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/1938>

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad



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

Ulrich Gaël BOUKA DIPELET^{1,2}
Charles DOUMENGE^{2,3}
Jean Joël LOUMETO¹
Jacques FLORENCE⁴
Christelle GONMADJE⁵
Doyle MCKEY⁶

¹ Université Marien Nguabi
Faculté des sciences
Laboratoire de botanique et écologie
BP 69, Brazzaville
Congo

² Cirad
Unité de recherche Forêts et Sociétés
Campus international de Baillarguet
34398 Montpellier cedex 5
France

³ Forêts et Sociétés
Univ Montpellier
CIRAD
Montpellier
France

⁴ Muséum national d'histoire naturelle
Herbier national
Case postale 39
57, rue Cuvier
75231 Paris cedex 05
France

⁵ Université de Yaoundé I
Département de biologie végétale
BP 812, Yaoundé
Cameroun

⁶ CEFE, UMR 5175, CNRS
University of Montpellier
University Paul Valéry, EPHE
SupAgro Montpellier
INRA, IRD Montpellier
France

Auteur correspondant /
Corresponding author:
Ulrich Gaël Bouka Dipelet –
ulrichbouka@yahoo.fr

Des confusions entre espèces préjudiciables à la gestion durable des essences forestières : l'exemple des acajous d'Afrique (*Khaya*, Meliaceae)



Photo 1.
Fruits (capsules) de *Khaya anthotheca*, récoltés dans la région de la Sangha, République du Congo.
Photo A. P. Missamba-Lola.

Doi : 10.19182/bft2019.339.a31714 – Droit d'auteur © 2018, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 12 février 2018 ;
date d'acceptation : 30 octobre 2018 ; date de publication : 30 janvier 2019.



Licence Creative Commons :
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.
Attribution-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-ND 4.0)

Citer l'article / To cite the article

Bouka Dipelet U. G., Doumenge C., Loumeto J. J., Florence J., Gonmadje C., McKey D., 2019. Des confusions entre espèces préjudiciables à la gestion durable des essences forestières : l'exemple des acajous d'Afrique (*Khaya*, Meliaceae). Bois et Forêts des Tropiques, 339 : 17-32. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2019.339.a31714>

RÉSUMÉ

Des confusions entre espèces préjudiciables à la gestion durable des essences forestières : l'exemple des acajous d'Afrique (*Khaya*, Meliaceae)

Les espèces du genre *Khaya* procurent l'un des bois les plus prisés du continent africain. Elles sont commercialisées sous l'appellation « acajou d'Afrique » depuis environ deux siècles. En Afrique continentale, on reconnaît actuellement quatre espèces morphologiquement proches : *Khaya anthotheca*, *K. grandifoliola*, *K. ivorensis* et *K. senegalensis*. Le nombre de taxons du genre *Khaya* a varié au cours du temps et la délimitation de ces taxons n'est pas sans avoir des implications sur les stratégies de conservation et de gestion durable des espèces. L'objectif du travail présenté ici est de s'assurer de la délimitation de ces espèces sur la base d'un bilan des connaissances actuelles en taxonomie, génétique, écologie et chimiotaxonomie. Les données disponibles ne permettent pas toujours de séparer sans ambiguïté les quatre acajous d'Afrique continentale. Elles permettent toutefois d'avancer que *K. ivorensis*, *K. grandifoliola* et *K. senegalensis* seraient des espèces à part entière mais dont les limites taxonomiques doivent encore être précisées. *Khaya nyasica* serait également une espèce qui devrait être séparée de *K. anthotheca*. Au sein de cette dernière, plusieurs chémotypes ont été identifiés, ce qui suggère que ce taxon pourrait recouvrir un ensemble plus complexe d'au moins deux autres taxons dont le rang spécifique ou sous-spécifique reste à préciser. Des recherches morphométriques, génétiques et écologiques doivent être développées afin de clarifier le statut systématique et l'histoire évolutive de ces divers taxons, en vue de formuler des recommandations appropriées pour la gestion durable des acajous d'Afrique.

Mots-clés : acajous d'Afrique, *Khaya*, taxonomie, morphologie, écologie, génétique, essences forestières, gestion durable et exploitation, Afrique.

ABSTRACT

Adverse effects of confusion between forest species on sustainable management: the example of African mahoganies (*Khaya*, Meliaceae)

Species of the genus *Khaya* produce some of Africa's most valuable timber. For two centuries, these species have all been traded as "African mahogany". On the African continent, four different but morphologically similar species are now recognised: *Khaya anthotheca*, *K. grandifoliola*, *K. ivorensis* and *K. senegalensis*. The number of taxa included in the genus *Khaya* has varied over time, and the way these taxa are distinguished has implications for the development of sustainable management strategies for the different species. The aim of the study described in this article was to make sure that these species are distinguished on the basis of up-to-date knowledge on taxonomy, genetics, ecology and chemotaxonomy. Although the data available do not always suffice to clearly distinguish between the four mahogany species on the African continent, they do indicate that *K. ivorensis*, *K. grandifoliola* and *K. senegalensis* are probably distinct species whose taxonomic limits are yet to be clearly defined. It also seems that *Khaya nyasica* should be distinguished from *K. anthotheca*. Several chemotypes have been identified in the latter, suggesting that it could in fact cover a more complex group including at least two other taxa whose rank as species or sub-species is yet to be determined. Morphometric, genetic and ecological studies need to be developed to clarify the systemic status and evolutionary history of these different taxa, in order to formulate appropriate recommendations for the sustainable management of African mahoganies.

Keywords: African mahoganies, *Khaya*, taxonomy, morphology, ecology, genetics, forest tree species, sustainable management and logging, Africa.

RESUMEN

Confusiones entre especies perjudiciales para la gestión sostenible de las especies forestales: el ejemplo de las caobas de África (*Khaya*, Meliaceae)

Las especies del género *Khaya* proporcionan uno de los bosques más apreciados del continente africano. Se comercializan bajo la denominación «caoba de África» (acajou d'Afrique) desde hace unos dos siglos. En África continental se reconocen actualmente cuatro especies morfológicamente cercanas: *Khaya anthotheca*, *K. grandifoliola*, *K. ivorensis* y *K. senegalensis*. El número de taxones del género *Khaya* ha variado con el curso del tiempo y la delimitación de estos taxones no está libre de implicaciones sobre las estrategias de conservación y de gestión sostenible de las especies. El objetivo del trabajo presentado es asegurar la delimitación de estas especies según un balance de los conocimientos actuales en taxonomía, genética, ecología y quimiotaxonomía. Los datos disponibles no permiten separar sin ambigüedad las cuatro caobas de África continental. Permiten, no obstante, avanzar que *K. ivorensis*, *K. grandifoliola* y *K. senegalensis* serían especies de pleno derecho, aunque sus límites taxonómicos todavía deben ser precisados. *Khaya nyasica* también sería una especie que debería separarse de *K. anthotheca*. Dentro de esta última, se han identificado varios quimiotipos, lo que sugiere que este taxón podría abarcar un conjunto más complejo de al menos dos otros taxones cuyo rango específico o subespecífico todavía no se ha precisado. Deben desarrollarse investigaciones morfométricas, genéticas y ecológicas para clarificar el estatus sistemático y la historia evolutiva de estos taxones, en vistas a formular recomendaciones apropiadas para la gestión sostenible de las caobas de África.

Palabras clave: caobas de África, *Khaya*, taxonomía, morfología, ecología, genética, especies forestales, gestión sostenible y explotación, África.

Introduction

Les forêts tropicales africaines renferment une importante diversité biologique (Sosef *et al.*, 2017). L'homme utilise ces vastes ressources depuis plusieurs centaines voire des milliers d'années, tant pour des usages traditionnels que commerciaux, y compris à l'échelle internationale (De Wasseige *et al.*, 2012). Certaines espèces ont ainsi fait l'objet d'une exploitation industrielle pour la production de bois d'œuvre depuis le XVII^e siècle (Sawyer, 1996). Très vite, il est apparu que si diverses essences forestières recherchées pour la qualité de leur bois correspondaient bien à une espèce botanique (par exemple l'okoumé, *Aucoumea klaineana* Pierre, Burseraceae), dans de nombreux cas, plusieurs espèces botaniques ou plusieurs genres pouvaient être confondus sous un seul nom d'essence forestière et considérés ainsi comme une seule entité. C'est le cas de plusieurs Sapotaceae confondus sous l'appellation *aniégré* et de diverses Fabaceae-Caesalpinioideae confondus sous l'appellation *andoung* (Détienne, 1979, 1991 ; Wieringa, 1999 ; Mboma, 2012 ; Gérard *et al.*, 2016).

Les caractères relatifs à la qualité des bois sont les plus importants pour les négociants car ils déterminent l'usage et la valeur commerciale de ces bois. Le regroupement de plusieurs espèces sous un nom unique d'essence forestière peut toutefois masquer des propriétés physico-chimiques et des qualités de bois différentes (Wieringa, 1999), ce qui peut s'avérer trompeur pour l'utilisateur final. De plus, ce regroupement peut donner de fausses indications sur l'abondance des espèces et engendrer une forte pression d'exploitation sur des taxons fragiles – confondus avec des taxons largement répandus – qui pourraient être surexploités ou même disparaître du fait de leur rareté ou de leur répartition géographique restreinte (Dainou *et al.*, 2016). Ces confusions peuvent s'avérer préjudiciables à la fois pour les utilisateurs finaux et pour la gestion durable des ressources forestières et de la biodiversité dans son ensemble (Helgason *et al.*, 1996).

À ce problème de confusion d'espèces sous une appellation commerciale unique se superpose celui de la délimitation des espèces botaniques, l'un des objectifs majeurs de la systématique. Cette délimitation est souvent confrontée à la définition même de « l'espèce », ce qui a mené au développement de nombreuses méthodes et concepts, dont ceux d'espèce morphologique (De Queiroz, 2007) et d'espèce biologique (Mayr, 1942).

Selon le concept morphologique, une espèce est définie comme un groupe d'individus partageant un ensemble de traits morphologiques (marqueurs morphologiques) similaires qui les distinguent des autres (De Queiroz, 2007). Cependant, dans certains cas, le regroupement des individus partageant des traits morphologiques communs n'est pas toujours évident car toute spéciation n'est pas forcément accompagnée d'une différenciation morphologique claire (Bickford *et al.*, 2007). Ainsi, pour séparer les espèces, la taxonomie numérique se base sur des analyses statistiques quantitatives ou qualitatives d'un maximum de caractères (Rieseberg *et al.*, 2006).

Selon le concept biologique, l'espèce se définit comme une unité isolée de manière reproductive (De Queiroz, 2007). Ce concept peut être désormais étudié à l'aide de marqueurs génétiques via les méthodes de regroupement bayésiennes qui permettent de déterminer si des groupes d'individus coexistant possèdent une barrière reproductive. Cependant, l'utilisation de ces méthodes pour la délimitation des espèces est onéreuse et peut être difficile à mettre en œuvre, en particulier lorsqu'il existe des cas d'hybridation ou d'introgression (Rieseberg et Willis, 2007 ; Duminil et Di Michele, 2009).

Cette double problématique, de difficulté de la délimitation des espèces et de confusion de ces espèces sous des appellations commerciales génériques, se retrouve parmi les « acajous d'Afrique » du genre *Khaya*, Meliaceae (APG III, 2009). Cette famille fournit certains des bois les plus prisés du continent, dont le bois d'acajou d'Afrique (De Wasseige *et al.*, 2012). Les espèces du genre *Khaya* sont exploitées industriellement pour leur bois depuis près de 200 ans (CTFT, 1959, 1988) et elles sont aussi largement employées dans la pharmacopée traditionnelle depuis des temps



Photo 2.
Pied de *Khaya anthotheca* dans la région de l'Est, Mindourou, Cameroun.
Photo U. G. Bouka Dipelet.

immémoriaux, dans le traitement de nombreuses affections telles que la variole, le paludisme, les fièvres, la jaunisse, les maux d'estomac, les rhumatismes, les dermatoses (CTFT, 1988 ; Kerharo et Bouquet, 1950).

Le terme « acajou » désignait originellement le genre *Swietenia* Jacq. du continent américain. Il a été étendu à l'Afrique, après la découverte de deux espèces, *K. senegalensis* (Desr.) A. Juss. et *Entandrophragma angolense* (Welw.) C. DC., initialement dénommées *Swietenia senegalensis* Desr. et *S. angolensis* Welw. Sur le marché du bois, ce terme a été ainsi longtemps appliqué aux genres *Swietenia* (acajous d'Amérique) et *Khaya* (acajous d'Afrique ; Normand, 1955) mais l'Association technique internationale des bois tropicaux (ATIBT) a attribué en 2016 les dénominations commerciales « mahogany » aux *Swietenia* et « acajou » aux seuls *Khaya* (ATIBT, 2016). En même temps, elle regroupe également sous le terme « acajou d'Afrique » le bois de trois espèces forestières (ou périforestières), *K. ivorensis* A. Chev., *K. anthotheca* (Welw.) C. DC. et *K. grandifoliola* C. DC., ne séparant explicitement que *K. senegalensis* sous le terme « acajou caïlcédrat » et *K. nyasica* Stapf ex Baker f. sous celui de « acajou umbaua ». Dans certains pays, une appellation commerciale locale est affectée individuellement aux trois espèces forestières : « acajou rouge » ou « acajou Bassam » pour *K. ivorensis*, « acajou blanc » pour *K. anthotheca* et « acajou à grandes feuilles » pour *K. grandifoliola* (CTFT, 1979). Une autre espèce est aussi dénommée « acajou », *K. madagascariensis* Jum. & H. Perrier, endémique de Madagascar et des Comores (CJBG et SANBI, 2012). En raison de la proximité morphologique des espèces et d'une importante variation phénotypique au sein de chacune d'elles, la délimitation des taxons a largement varié au cours du temps, depuis la publication de la *Flora of Tropical Africa* (Oliver, 1868), qui n'en retenait qu'une seule (*K. senegalensis*), jusqu'à l'*African Plant Database* (CJBG et SANBI, 2012) qui en retient aujourd'hui cinq : *K. anthotheca*, *K. grandifoliola*, *K. ivorensis*, *K. madagascariensis* et *K. senegalensis*. Nous ne traiterons ici que des quatre espèces de l'Afrique continentale, hormis donc *K. madagascariensis*.

Malgré leur importance économique et deux siècles environ d'exploitation industrielle (CTFT, 1979), il existe encore de nombreuses controverses sur le nombre d'espèces constituant le genre *Khaya* (Bouka et al., 2017). Il est donc nécessaire de clarifier la taxonomie et les caractéristiques écologiques des espèces du genre *Khaya* pour en favoriser l'identification et la traçabilité par les gestionnaires et les acteurs du marché des bois tropicaux. C'est ce qui constitue l'objectif du présent travail.

À travers une synthèse bibliographique, nous nous attacherons ainsi à répondre aux questions suivantes :

- les connaissances taxonomiques et génétiques actuelles sur les acajous permettent-elles de séparer clairement les espèces du genre *Khaya* ?
- les caractéristiques écologiques de ces espèces sont-elles bien différenciées ?
- quels sont les principaux axes de recherche qui nécessitent des efforts supplémentaires pour clarifier le statut des divers taxons et contribuer à leur gestion durable ?

Systématique des *Khaya*

Taxonomie et nomenclature

Le genre *Khaya* appartient à la sous-famille des Cedreloideae (APG III, 2009). La première espèce du genre a été décrite en 1808 par Desrousseaux sous le nom de *Swietenia senegalensis*, puis transférée dans le genre *Khaya* créé par A.H.L. de Jussieu en 1830 (De Jussieu, 1830). Ce genre fut nommé d'après l'appellation « caïlcédrat », par référence au nom ouolof *cail* (= *khay*), dont *K. senegalensis* tire son nom commercial (Chevalier, 1937 ; Aubréville, 1959). Actuellement, quatre espèces sont acceptées en Afrique continentale dans l'*African Plant Database* (tableau I ; CJBG et SANBI, 2012). Il s'agit de *K. anthotheca*, *K. grandifoliola*, *K. ivorensis* et *K. senegalensis*.

Du fait d'une importante variabilité phénotypique au sein de chaque espèce, générant une proximité morphologique entre elles, plusieurs taxons furent décrits et publiés, puis mis ultérieurement en synonymie de ces quatre espèces (tableaux I et II ; Aubréville, 1959 ; Voorhoeve, 1965 ; Styles et White, 1991 ; Bouka et al., 2017). C'est le cas, en particulier,

Tableau I.

Les espèces du genre *Khaya* présentes sur le continent africain et leur synonymie.

Espèces actuellement acceptées par CJBG et SANBI	Synonymes
<i>Khaya anthotheca</i> (Welw.) C. DC.	<i>Garretia anthotheca</i> Welw. (1859)
	<i>Khaya euryphylla</i> Harms (1902)
	<i>Khaya nyasica</i> Stapf ex Baker f. (1911)
	<i>Khaya mildbraedii</i> Harms (1917)
	<i>Khaya agboensis</i> A. Chev. (1928)
	<i>Khaya wildemanii</i> Ghesq. (1926)
<i>Khaya grandifoliola</i> C. DC.	<i>Khaya punchii</i> Stapf (1908)
	<i>Khaya grandis</i> Stapf (1908)
	<i>Khaya kerstingii</i> Engl. (1915)
	<i>Khaya dawei</i> Stapf (1929)
<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.	<i>Khaya klainei</i> Pierre ex Pellegr. (1911)
	<i>Khaya caudata</i> Stapf ex Hutch. & Dalziel (1928)
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	<i>Swietenia senegalensis</i> Desr. (1808)

Tableau II.

Clé d'identification des acajous du continent africain sur la base des caractères végétatifs.

Sources : adapté d'après Staner et Gilbert (1958), Aubréville (1950, 1959), et Styles et White (1991).

1a. Foliolles largement elliptiques ou ovées-elliptiques (figure 1)	2a. Très grandes foliolles, 3 à 5 paires (ordinairement 4), 10-25 × (5-) 6-10 cm ; nombreuses nervures latérales (12 à 15 paires), bien marquées sur la face inférieure du limbe ; sommet arrondi, apiculé ; espèce de galeries forestières	<i>Khaya grandifoliola</i> (acajou à grandes feuilles)
	2b. Foliolles généralement plus petites, 2 à 4 (-6) paires (habituellement 3), 8-15 × 4-8 cm ; 5 à 9 paires de nervures latérales peu visibles ; sommet très brièvement acuminé ; espèce de forêt dense humide semi-décidue de l'ouest et du centre et des galeries forestières du sud-est de l'Afrique	<i>Khaya anthotheca</i> (acajou blanc)
	1b. Foliolles oblongues ou oblongues-elliptiques (figure 1)	
	3a. (4) 5 ou 6 (7) paires de foliolles, ordinairement 5 ou 6 ; foliolles de 5-14 × 2-6 cm ; 5 à 9 paires de nervures latérales planes à la face inférieure du limbe ; foliolles distinctement acuminées (acumen 0,5 à 1,5 cm de longueur) ; espèce de forêt dense humide sempervirente	<i>Khaya ivorensis</i> (acajou rouge ou acajou Bassam)
	3b. 3 ou 4 (6) paires de foliolles. Foliolles de (5-) 7-12 × (2,5-) 4-5 (-6) cm ; 8 à 10 paires de nervures latérales, un peu saillantes et bien visibles à la face inférieure du limbe ; foliolles à peine acuminées ; espèce de galeries forestières, de savane boisée et de forêt sèche	<i>Khaya senegalensis</i> (caïlcédrat)

de *K. nyasica* Stapf ex Baker f., d'Afrique de l'Est et du Sud-Est, parfois considéré comme un bon taxon mais le plus souvent mis en synonymie de *K. anthotheca*. Depuis la publication de la première espèce, on ne dispose d'aucune révision taxonomique de l'ensemble du genre. Les principales flores africaines le traitent à l'échelle locale, sans que les botanistes trouvent un consensus sur le nombre d'espèces, certains auteurs mentionnant jusqu'à six ou sept espèces pour le seul continent (Staner et Gilbert, 1958 ; Styles et White, 1991).

De plus, des espèces généralement séparées, telles *K. grandifoliola* et *K. anthotheca* d'une part, *K. ivorensis* et *K. anthotheca* d'autre part, sont considérées comme conspécifiques par certains auteurs. Elles pourraient aussi inclure des hybrides entre chacune de ces deux paires d'espèces ou avec *K. senegalensis* (Chevalier, 1928 ; Eyog-Matig, 1987 ; Styles et White, 1991), traduisant probablement leur proximité génétique.

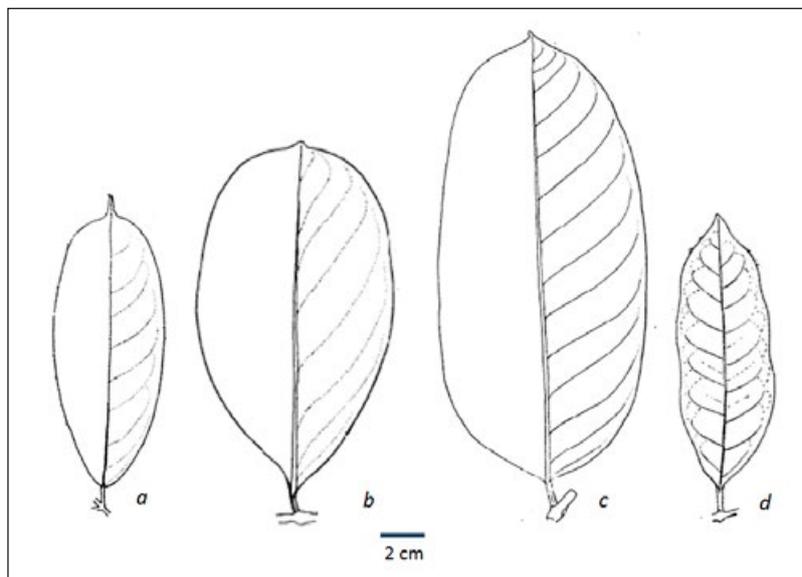


Figure 1.

Variation de la forme et de la taille des foliolles des acajous africains.

a : *Khaya ivorensis*, foliole médiane ; b : *K. anthotheca*, foliole basale ;

c : *K. grandifoliola*, foliole médiane ; d : *K. senegalensis*, foliole médiane.

Source : Aubréville (1950 et 1959).

Caractères botaniques

Les acajous d'Afrique sont tous de grands arbres qui atteignent 20-35 m de hauteur pour *K. senegalensis* et jusqu'à 60 m de hauteur pour les plus grandes espèces (*K. anthotheca* et *K. ivorensis*). Les feuilles alternes, disposées en touffes à l'extrémité des rameaux, sont généralement paripennées avec des folioles opposées à subopposées, totalement glabres. Malgré la grande variabilité foliaire, la taille, la forme et le nombre de folioles permettent, dans une certaine mesure (il existe souvent des individus intermédiaires ou qui sont difficilement classables qui pourraient être des hybrides tels que signalés plus haut), de différencier les quatre taxons actuellement reconnus (figure 1, tableau II). En Afrique de l'Ouest, certains caractères micromorphologiques, visibles uniquement au microscope (aspect de la surface cuticulaire des feuilles, taille et forme des cellules de l'épiderme foliaire, taille et densité des stomates), semblent aussi permettre de séparer ces taxons (Olowokudejo et Nyananyo, 1990).

Les acajous sont des espèces monoïques, avec des fleurs des deux sexes sur le même pied, présentes dans des inflorescences distinctes ou non. Ces inflorescences sont disposées au sommet des rameaux, en panicules axillaires. Elles sont diversement ramifiées et leurs dimensions varient au sein d'une même espèce et entre elles (tableau III). Les fleurs sont peu différenciées, unisexuées avec des vestiges du sexe opposé non fonctionnels (De Wilde, 2015), avec quatre ou cinq sépales soudés et quatre ou cinq pétales libres, plutôt au nombre de quatre chez *K. senegalensis* et plus fréquemment au nombre de cinq chez les autres espèces. Les étamines sont au nombre de huit ou dix en fonction de la mérie de la fleur et soudées en un tube typique de nombreuses Meliaceae (Staner et Gilbert, 1958).

Le fruit, dressé au-dessus de la cime de l'arbre, est une capsule (photo 1) subglobuleuse, ligneuse, s'ouvrant par quatre ou cinq valves épaisses ; les valves restant unies à leur base et contenant plusieurs graines disciformes ou quadrangulaires, aplaties, bordées d'une aile membraneuse plus ou moins large et continue. Les capsules mesurent 6-10 cm de diamètre chez *K. anthotheca* et *K. grandifoliola* et sont ordinairement un peu plus petites (4-7 cm) chez *K. ivorensis* et *K. senegalensis* (tableau III).

Anatomie et propriétés du bois

Les bois des acajous africains sont de couleur brun rosé, plus ou moins rouge à l'abattage. Leurs propriétés physiques et mécaniques sont proches de celles des *Swietenia* américains. Comme pour les caractères morphologiques, des différences existent entre les caractères anatomiques et les propriétés des bois d'acajous d'Afrique mais avec un recouvrement plus ou moins important (tableau III).

Le bois de *K. anthotheca* serait moins coloré que celui de *K. ivorensis* (Maroyi, 2008), la seule espèce qui donne des bois figurés (Aubrville, 1959). Cependant, la différence de couleur du bois de ces deux espèces est loin de faire l'unanimité chez les botanistes (Normand, 1955). Le gradient de densité des acajous d'Afrique s'étale de 420 à 900 kg/m³,

K. ivorensis présentant le bois le plus léger, puis *K. anthotheca*, *K. grandifoliola* et enfin *K. senegalensis* avec le bois le plus dense (tableau III ; Normand et Sallenave, 1958).

Khaya senegalensis présente la plus large gamme de variation de certains caractères dendrologiques, recouvrant largement les gammes de variation de *K. grandifoliola* et parfois des deux autres espèces (tableau III ; Normand, 1955 ; Normand et Sallenave, 1958 ; Aubrville, 1959). Autrement dit, les bois des trois espèces forestières sont très homogènes, avec des caractéristiques assez bien différenciées, alors que le bois de *K. senegalensis* est très variable d'un individu à l'autre, avec des gammes de variation bien plus importantes que les autres taxons. Ces différences pourraient s'expliquer – au moins en partie – par l'influence des conditions écologiques sur la croissance des individus de chaque espèce (Normand et Sallenave, 1958 ; Lemmens, 2008).

Molécules caractéristiques et chimiotaxonomie

Une étude chimique des bois et des graines d'acajou a permis d'identifier différentes molécules dont certaines sont spécifiques à chacune des quatre espèces actuellement acceptées en Afrique continentale (tableau IV ; Adesida *et al.*, 1971). Cependant, au sein de *K. anthotheca*, plusieurs chémotypes ont été mis en évidence. En premier lieu, les individus identifiés comme *K. nyasica* (provenant de Tanzanie, Malawi et Zimbabwe) présentaient des divergences chimiques pouvant laisser penser qu'il s'agissait d'un chémotype particulier, les auteurs le rattachant à *K. nyasica*, une espèce qu'ils séparaient de *K. anthotheca*.

Plus intéressant encore, deux autres chémotypes ont aussi été identifiés par Adesida *et al.* (1971) au sein de *K. anthotheca* avec, d'une part, les individus provenant d'Afrique de l'Ouest (Ghana, Nigeria et Sierra Leone) et, d'autre part, ceux récoltés au centre et à l'est de l'Afrique (Angola, Congo et Ouganda ; tableau IV). Ces deux types différaient également par la morphologie des feuilles et des fruits (Adesida *et al.*, 1971). En dépit de l'existence de ces différences chimiques et morphologiques, les auteurs concluent que les deux chémotypes occidental et oriental de *K. anthotheca* ne semblent pas justifier une description de deux espèces distinctes. Du fait d'une distribution discontinue, ils ont considéré que ces deux formes constituaient des populations de la même espèce, séparées depuis relativement longtemps.

Phylogénie et diversité génétique

Des travaux de phylogénie combinés à l'étude des fossiles indiquent que la famille des Meliaceae serait d'origine africaine (Muellner *et al.*, 2006). Elle est composée de deux sous-familles, les Melioideae et les Cedreloideae. Au sein de cette dernière, qui inclut divers genres tels que *Cedrela* P. Browne (américain) et *Entandrophragma* C. DC. (africain), le genre *Khaya* est génétiquement très proche des *Carapa* Aubl. afro-américains et, dans une moindre mesure, des *Xylocarpus* J. Koenig afro-asiatiques et des *Swietenia* américains. L'ancêtre commun des *Khaya* et des *Carapa* se serait séparé de celui des *Swietenia* et des *Xylocarpus* au tout

Tableau III.

Principales caractéristiques botaniques, écologiques et propriétés physiques du bois des *Khaya* d'Afrique continentale.

Caractères	<i>Khaya ivorensis</i>	<i>Khaya anthotheca</i>	<i>Khaya grandifoliola</i>	<i>Khaya senegalensis</i>	Références
Dimensions					
Hauteur maximale (m)	60	55 (65)	45	35	Vivien et Faure, 2011 ; Thirakul, 1989, 1990 ; Arbonnier, 2010 ; van Wyk et van Wyk, 2013 ; Meunier <i>et al.</i> , 2015
Diamètre maximal du tronc (cm)	200 (250)	250 (500)	150	150 (200)	Aubréville, 1959 ; Thirakul, 1989, 1990 ; Arbonnier, 2010 ; van Wyk et van Wyk, 2013 ; Meunier <i>et al.</i> , 2015
Tronc					
Base	Empattements ou contreforts épais, peu élevés (2,5 m)	Larges contreforts s'élevant à 3-4 m de hauteur	Contreforts larges, peu élevés	Empattements ou épaississements	Vivien et Faure, 2011 ; Thirakul, 1989, 1990 ; Styles et White 1991 ; Arbonnier, 2010 ; Meunier <i>et al.</i> , 2015
Conformation	Très droite	Plus ou moins sinueuse	Généralement sinueuse	Courte et tortueuse	Andrews, 1952 ; Aubréville, 1959 ; Nikiema et Pasternak, 2008
Couleur de l'écorce	Brune	Gris blanchâtre	Gris pâle à brun grisâtre	Brunâtre à gris foncé	Andrews, 1952 ; Aubréville, 1959 ; CTFT, 1979
Rhytidome	Légèrement rugueux, s'exfoliant en écailles subcirculaires en laissant des taches brunes	Lisse, s'exfoliant en écailles circulaires laissant une surface grêlée brun jaunâtre	Rugueuse, lisse vers le haut du tronc, tavelée de dépressions superficielles	Initialement lisse, mais devenant écailleuse, à minces écailles arrondies	Aubréville, 1959 ; Voorhoeve, 1965 ; CTFT, 1979, 1988 ; Maroyi, 2008 ; Nikiema et Pasternak, 2008
Bois					
Couleur	Brun rose pâle à rouge clair, parfois figuré	Brun rosé à rouge foncé	Brun rosé à brun rougeâtre	Brun rosé à brun rougeâtre, violacée	Chevalier, 1909 ; Aubréville, 1959 ; CTFT, 1979
Densité moyenne à 12 % d'humidité* (kg/m ³)	(420-) 488 (-570)	(490-) 551 (-660)	(560-) 658 (-770)	(620-) 780 (-900)	Normand et Sallenave, 1958 ; Lemmens, 2008 ; Nikiema et Pasternak, 2008 ; Maroyi, 2008 ; Opuni-Frimpong, 2008
Dureté (Chalais-Meudon)*	(1,3-) 1,65 (-2,2)	(2,3-) 2,63 (-2,9)	(3,3-) 3,68 (-4,5)	(3,5-) 5,9 (-8,0)	Normand et Sallenave, 1958
Flexion statique (kg/cm ²)	861-1 187	1 008-1 130	1 107-1 344	827-1 528	Normand et Sallenave, 1958
Compression de fil (kg/cm ²)	364-481	454-536	532-588	456-734	Normand et Sallenave, 1958
Feuilles					
Paires de folioles	(4) 5 ou 6 (7)	2 à 4 (6), généralement 3	3 à 5, généralement 4	3 ou 4 (6)	Aubréville, 1959 ; CTFT, 1979, 1988 ; Vivien et Faure, 2011 ; Thirakul, 1989, 1990 ; Arbonnier, 2010
Dimensions des folioles (cm)	5-14 × 2-6	8-15 × 4-8	10-25 × (5-) 6-10	(5-) 7-12 × (2,5-) 4-5 (-6)	CTFT, 1979, 1988 ; Vivien et Faure, 2011 ; Thirakul, 1990 ; Arbonnier, 2010
Forme des folioles	Oblongue-elliptique, nettement acuminée	Ovée-elliptique, très brièvement acuminée	Ovale-elliptique, arrondie, apiculé	Oblongue-elliptique, à peine acuminée	Aubréville, 1950 ; CTFT, 1979, 1988
Paires de nervures secondaires	5 à 9	5 à 9	12 à 15	8 à 10	Staner et Gilbert, 1958 ; Aubréville 1950, 1959 ; Styles et White, 1991
Inflorescence (longueur en cm)	20	25-(40)	40	15-20	Styles et White, 1991 ; CTFT, 1988 ; Arbonnier, 2010
Fruit					
Nombre de valves	4 ou 5	4 ou 5	5	4	CTFT, 1979
Diamètre (cm)	4-7 (-8)	(3-) 6-10	6-9 (-10)	4-6 (-10)	Chevalier, 1909 ; Styles et White, 1911 ; CTFT, 1979, 1988 ; Vivien et Faure, 2011 ; Thirakul, 1989 ; Opuni-Frimpong, 2008 ; van Wyk et van Wyk, 2013
Répartition					
Aire de répartition	Côte occidentale de l'Afrique, de la Côte d'Ivoire à la RDC	De la Guinée-Bissau à l'Ouganda et à la Tanzanie, et du nord-ouest de l'Angola au Mozambique	De la Guinée-Bissau à l'Ouganda	Du Sénégal au Soudan du Sud et à l'Ouganda	Aubréville, 1950, 1959 ; Staner et Gilbert, 1958 ; CTFT, 1959, 1988 ; Dupuy, 1998 ; Lemmens, 2008
Écologie					
Écosystèmes	Forêts denses humides sempervirentes	Forêts denses humides semi-décidues et forêts-galeries	Forêts-galeries et savanes boisées (forêts semi-décidues septentrionales)	Savanes boisées et forêts-galeries	Aubréville, 1959 ; CTFT, 1979
Précipitations annuelles (mm)	1 600-2 500	1 200-1 800	1 200-1 800	650-1 300 (-1 800)	CTFT, 1959, 1988 ; Dupuy, 1998 ; Lemmens, 2008
Saison sèche (mois)	2 ou 3	2 à 4	à 5	5 à 7	CTFT, 1959, 1988 ; Dupuy, 1998 ; Lemmens, 2008 ; Maroyi, 2008
Altitude (m)	≤ 700	≤ 1 500	≤ 1 400	≤ 1 800	CTFT, 1959, 1988 ; Dupuy, 1998 ; Lemmens, 2008
Tempérament vis-à-vis de la lumière	Semi-héliophile	Héliophile non pionnière	Héliophile non pionnière	Héliophile précoce non pionnière	Aubréville, 1959 ; CTFT, 1988 ; Meunier <i>et al.</i> , 2015

En gras apparaissent les caractéristiques les plus discriminantes. * : valeurs extrêmes entre parenthèses et valeur moyenne au centre.

Tableau IV.

Composés chimiques présents dans les espèces du genre *Khaya* et dans plusieurs formes de *K. anthotheca*.

Caractères	<i>Khaya ivorensis</i>	<i>Khaya anthotheca</i>			<i>Khaya grandifoliola</i>	<i>Khaya senegalensis</i>
		(ouest)	(centre-est)	<i>Khaya nyasica</i>		
Bois						
11 β -acétoxy-khivorine	–	–	–		–	–
Anthothécol	–		–	–	–	–
7-céto-khivorine	–	–	–	–	–	
Khayasine	–	–	–	–	–	
Khivorine		–	–		–	–
Méthyl angolensate	–	–	–	–		–
Graines						
3- déacétyl-khivorine	–	–			–	–
Fissinolide	–	–	–			–
Havanensine	–		–	–	–	–
Khayanthone	–	–		–	–	–
Méthyl angolensate		–	–	–	–	–
Khivorine	–	–		–	–	–

Gris foncé : présence du composé chimique ; – : absence du composé chimique. Source : d'après Adesida *et al.* (1971).

début du Miocène (vers -25 à -20 millions d'années), avant la divergence de ces deux genres, entre -20 et -15 millions d'années (Koenen *et al.*, 2015).

Le genre *Khaya* semble s'être très peu différencié depuis la fin du Miocène. Ses divers taxons auraient commencé à se séparer vers la fin du Miocène ou au Pliocène (sensiblement entre -7 et -4 millions d'années environ). Comme il a été suggéré pour diverses espèces de plantes américaines (Hardy *et al.*, 2006), on peut supposer que la déhiscence, l'anémochorie et la faible durée de vie des graines des *Khaya* (CTFT, 1959) auraient été défavorables à une dispersion transatlantique et auraient, au contraire, favorisé le brassage génétique sur le continent africain.

Du point de vue de la diversité et de la structuration génétique, il existe très peu de travaux incluant plusieurs espèces du genre *Khaya* hormis ceux de Chalmers *et al.* (1994). Ces auteurs mettent en évidence une différenciation génétique entre les *Khaya* (*K. anthotheca*, *K. ivorensis*, *K. senegalensis*) et d'autres espèces appartenant aux genres *Cedrela*, *Lovoa* Harms et *Swietenia* ; les *Khaya* étant génétiquement plus proches des *Swietenia* que des autres genres, suggérant l'existence d'un ancêtre commun. Parmi les espèces du genre *Khaya*, *K. anthotheca* s'avérait génétiquement bien séparé de *K. senegalensis* et *K. ivorensis* alors que ces deux dernières espèces semblaient génétiquement plus proches, soulevant la question de leur propension à s'hybrider.

La majorité des études génétiques relatives aux acajous d'Afrique ont été réalisées sur *K. senegalensis*. Cela est peut-être dû à une domestication plus poussée que pour les autres espèces du genre, car le caïlcédrat est largement planté au-delà de son aire de répartition d'origine,

notamment en Australie (Nikles *et al.*, 2008 ; Karan *et al.*, 2012). Bien que la différenciation génétique entre les populations de *K. senegalensis* soit relativement faible sur toute son aire de répartition, plusieurs études ont révélé deux groupes génétiques distincts. Le premier groupe se limite à l'Afrique de l'Ouest, notamment depuis le Sénégal jusqu'au Bénin, et le second concerne uniquement l'Afrique de l'Est (Ouganda et Soudan) ; ces deux groupes sont séparés par une zone de contact s'étendant du Nigeria au Tchad. Des niveaux de diversité génétique plus élevés ainsi qu'un grand nombre d'haplotypes rares ont été identifiés dans le groupe ouest-africain mais aussi, dans une moindre mesure, dans l'est du Nigeria (Karan *et al.*, 2012 ; Sexton *et al.*, 2015). Malgré leur faible valeur, certains paramètres de diversité génétique de *K. senegalensis*, notamment l'hétérozygotie observée et l'hétérozygotie attendue, se situent dans la gamme de valeurs d'autres espèces de forêts africaines, voire légèrement supérieures (tableau V ; Born *et al.*, 2011 ; Duminil *et al.*, 2013).

Outre le développement de marqueurs polymorphes, de microsatellites et de SNP (*Single Nucleotide Polymorphisms*) propres à l'espèce (Li *et al.*, 2010 ; Sexton *et al.*, 2010 ; Höltkén *et al.*, 2012 ; Karan *et al.*, 2012), *K. senegalensis* présente un niveau de transférabilité très élevé des microsatellites de *Swietenia mahagoni* (L.) Jacq. (Lemes *et al.*, 2011). Ces caractères offrent un potentiel d'application immédiate pour les études de génétique évolutive et la mise en place de stratégies de conservation ou de la traçabilité du bois des acajous d'Afrique, en particulier ceux de forêt, génétiquement moins bien connus que le caïlcédrat.

Tableau V.

Comparaison de quelques valeurs de diversité (marqueurs microsatellites) parmi plusieurs taxons arborés d'Afrique tropicale.

Taxon	Ho	He	Références
<i>Aucoumea klaineana</i>	0,349-0,539 (0,45)	0,442-0,599 (0,50)	Born <i>et al.</i> , 2011
<i>Erythrophleum</i> spp.	0,423-0,542 (0,48)	0,586-0,726 (0,64)	Duminil <i>et al.</i> , 2013
<i>Khaya senegalensis</i>	0,375-0,795 (0,62)	0,409-0,900 (0,74)	Karan <i>et al.</i> , 2012
	0,56-0,70	0,66-0,72	Sexton <i>et al.</i> , 2015

He : hétérozygotie attendue ; Ho : hétérozygotie observée. Les valeurs entre parenthèses représentent les moyennes

Écologie et régénération

Macroécologie et répartition géographique

Si les quatre espèces d'acajous du continent africain montrent une réelle proximité morphologique, il n'en va pas de même sur le plan géographique et écologique (Dupuy et M'Bla Koua, 1993). En dépit de quelques chevauchements dans leurs aires de répartition, ces espèces sont réparties sur toute l'Afrique tropicale le long d'un gradient climatique latitudinal (figure 2), depuis des climats équatoriaux humides à saisonnalité faible (*K. ivorensis*) ou un peu plus marquée (*K. anthotheca*) jusqu'à des climats tropicaux de plus en plus secs et à longue saison sèche (*K. grandifoliola* puis *K. senegalensis* ; Lemmens, 2008).

Chaque espèce semble s'être individualisée sous des conditions climatiques particulières, même si les gammes de précipitations ou de saisons sèches sont partiellement recouvrantes (tableau III). Toutefois, *K. anthotheca*, dont l'aire de répartition est très large (de la Guinée-Bissau au Mozambique), inclut une gamme de climats beaucoup plus variables que les autres espèces, depuis des climats tropicaux humides de basse altitude jusqu'à des climats tropicaux relativement secs des plateaux d'Afrique orientale (Nicholson, 2004). Cela pourrait au moins laisser suspecter l'existence d'écotypes à défaut de taxons spécifiques ou infraspécifiques.

Densités de population

À l'état naturel, les acajous africains ne sont pas des essences grégaires. Ils sont généralement disséminés, bien qu'il ne soit pas exclu de trouver quelques individus groupés de place en place (Aubrèville, 1959 ; Poorter *et al.*, 2004).

Ainsi, *K. ivorensis* se présente souvent sous forme de petits bouquets de quelques dizaines d'arbres ou en bandes alignées le long des talwegs. En Côte d'Ivoire, les *K. ivorensis* exploitables (arbres de diamètre du tronc à hauteur de poitrine ou DHP \geq 80 cm) présentaient une densité moyenne de 0,1 arbre/ha en forêt naturelle à la fin des années 1950. Toutefois, la densité de cette espèce varie beaucoup d'une

région à l'autre, d'une absence totale à 0,5 arbre exploitable par hectare (Aubrèville, 1959). Au Cameroun, des inventaires réalisés dans les années 1960-1980 donnent des densités allant de 0 à 0,8 arbre/ha pour les zones les plus riches (arbres de DHP \geq 40 cm) ; cette densité maximale tombant à 0,6 arbre/ha pour les DHP \geq 60 cm (Vivien et Faure, 2011 ; Cirad, 2017).

À titre de comparaison, pour les arbres de taille semblable (DHP \geq 40 cm), les densités maximales de *K. anthotheca* et de *K. grandifoliola* ne dépassaient pas, respectivement, 0,4 et 0,25 arbre/ha, souvent même à des densités beaucoup plus faibles (Vivien et Faure, 2011 ; Cirad, 2017). Des prospections anciennes effectuées en Côte d'Ivoire donnaient une moyenne de 0,05 à 0,1 arbre exploitable par hectare de *K. anthotheca* selon la région (Aubrèville, 1959 ; Guillard, 1999).

Exigences pédologiques

Les acajous africains semblent préférer les sols riches, bien drainés et retenant l'humidité. Deux d'entre eux (*K. ivorensis* et *K. senegalensis*) hébergent des endomycorhizes et il est possible que les autres espèces en bénéficient aussi (Khasa *et al.*, 1990).

Khaya ivorensis est occasionnellement présent sur les sols latéritiques mais préfère les sols alluviaux humides et bien drainés ; cette espèce est plus fréquente le long des cours d'eau, dans les forêts ripicoles et sur les bas de versants (Dupuy, 1998 ; Lemmens, 2008). *Khaya anthotheca* est souvent présent en Afrique occidentale et centrale, sur les pentes et le long des cours d'eau ; en Afrique orientale et australe, on le rencontre aussi sur terre ferme et en forêt ripicole (Irvine, 1961 ; Voorhoeve, 1965 ; Maroyi, 2008). *Khaya grandifoliola* préfère aussi les sols humides bien drainés des forêts-galeries. Il est commun par endroits, sur les sols alluviaux des vallées ou au pied des collines granitiques, dans des sols d'éboulis (CTFT, 1959 ; Dupuy, 1998 ; Opuni-Frimpong, 2008).

Enfin, *K. senegalensis*, caractéristique des savanes et des forêts-galeries soudano-guinéennes, se rencontre dans des terrains secs, sur divers sols allant des sols sableux aux vertisols, en passant par des sols latéritiques et ferrugineux.

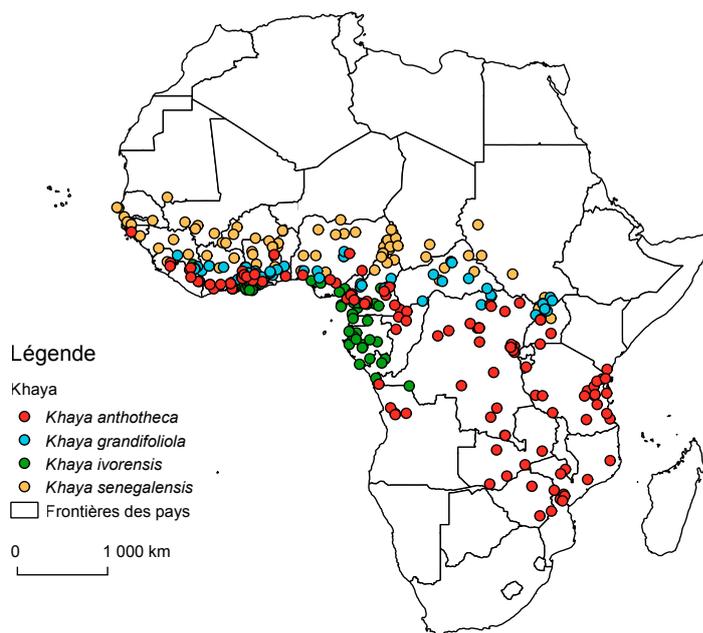


Figure 2.

Répartition géographique des *Khaya* d'Afrique continentale. Adapté d'après les bases de données Tropicos (Missouri Botanical Garden), GBIF (Global Biodiversity Information Facility), CJBG-SANBI (Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève - South African National Biodiversity Institute) et RIHA (Réseau international des herbiers d'Afrique).

Cependant, il devient surtout un bel arbre lorsque le sol reste légèrement humide, dans les forêts-galeries, le long des cours d'eau et dans les dépressions où il tolère une inondation limitée pendant la saison des pluies. Cette espèce préfère les sols alluviaux profonds et humides, fertiles et convenablement drainés, de type argilo-sableux, ainsi que les termitières (CTFT, 1959, 1988 ; Dupuy, 1998 ; Nikiema et Pasternak, 2008).

Phénologie

Certains auteurs considèrent les acajous d'Afrique comme des espèces à feuillage caduc ou brièvement caduc (qui perdent leurs feuilles pendant un temps relativement court ; *K. anthotheca*, *K. grandifoliola* et *K. senegalensis* ; Taylor, 1960 ; Voorhoeve, 1965 ; Hall et Swaine, 1981 ; Oteng-Amoako, 2006). D'autres, au contraire, les considèrent comme des espèces à feuillage persistant (*K. ivorensis*, *K. anthotheca* et *K. senegalensis* ; White et Styles, 1963 ; Hall et Swaine, 1981 ; Oteng-Amoako, 2006 ; Lemmens, 2008 ; Nikiema et Pasternak, 2008). Il semblerait pourtant que les acajous perdent de manière plus ou moins importante leurs feuilles au cours de la saison sèche mais que celles-ci soient renouvelées rapidement, la nouvelle feuillaison succédant aussitôt à l'ancienne (Aubréville, 1959 ; Taylor, 1960 ; CTFT, 1988).

Les acajous fructifient selon les espèces à différents âges et diamètres. Cependant, cette fructification ne devient abondante que pour les arbres ayant un tronc de gros diamètre (Maroyi, 2008). Ainsi, chez *K. anthotheca*, les individus

commencent à fructifier à partir du moment où le DHP atteint 18 cm mais la fructification ne devient abondante qu'à partir de diamètres supérieurs à 70 cm (diamètre de fructification régulière ou DFR ; Maroyi, 2008). Chez *K. ivorensis*, la fructification a lieu vers l'âge de 15 ans (De la Mensbruge, 1966), devenant abondante à l'âge de 30 ans (Poorter *et al.*, 2004 ; Lemmens, 2008). Cette espèce produirait massivement les graines tous les 3 ou 4 ans (Lemmens, 2008). Chez *K. senegalensis*, la production des graines peut commencer après 20 ou 25 ans (Nikiema et Pasternak, 2008).

La phénologie de *K. senegalensis* se démarque des autres espèces, avec une seule saison de floraison et une seule saison de fructification. Au contraire, les acajous de forêt fleurissent et fructifient deux fois par an, avec une saison principale de fructification en fin de saison sèche et en début de saison des pluies. Très souvent, les arbres portent simultanément des fruits mûrs ou plus ou moins mûrs et des fleurs (Aubréville, 1959 ; Voorhoeve, 1965 ; CTFT, 1988). La floraison des acajous est en général très irrégulière ; certains arbres peuvent avoir des fleurs pendant que d'autres n'en ont pas et, alors que les uns fleurissent, d'autres fructifient déjà (Aubréville, 1959 ; Taylor, 1960).

Les graines de *K. senegalensis* sont mûres en février et mars à Ouagadougou (Burkina Faso), de mars à avril au Sénégal, en juin à Pita, en Guinée (CTFT, 1988). En Côte d'Ivoire, la période principale de maturité des graines de *K. anthotheca* et de *K. ivorensis* se situe en mars et avril (Aubréville, 1959).

Régénération naturelle

Les fruits des acajous contiennent de nombreuses graines (environ 60 à 80 par fruit ; CTFT, 1988 ; Tailfer, 1972 ; Vivien et Faure, 2011). La déhiscence intervient ordinairement sur l'arbre (Aubréville, 1959), les graines ailées étant disséminées par le vent (Voorhoeve, 1965 ; CTFT, 1988). Elles ne sont jamais dispersées très loin du pied-mère car les ailes sont assez petites, sauf en cas de vents forts, tempêtes, tornades (Taylor, 1960). Chez *K. anthotheca*, par exemple, la majorité des graines sont dispersées dans un rayon de 30 m autour du pied-mère (Maroyi, 2008) et jusqu'à plus ou moins 100 m chez *K. senegalensis* (CTFT, 1988).

Les fruits sont souvent attaqués par les insectes avant leur ouverture (prédation pré-dispersion) et, une fois à terre, les graines sont très rapidement dévorées par des insectes et des rongeurs en raison de leur importante teneur en graisses, s'agissant donc de prédation post-dispersion (Aubréville, 1959 ; CTFT, 1988). Pour celles qui germent, la croissance initiale des plantules est lente (Eyog-Matig, 1987 ; CTFT, 1988). La densité des semis est plus élevée autour des pieds-mères et dans les zones où le tapis herbacé est clairsemé.

Les jeunes plants d'acajou de forêt ont une tige élancée et une petite cime, une croissance latérale importante débutant lorsque la canopée de la forêt a été atteinte (Aubréville, 1959 ; Lemmens, 2008). Les jeunes plants de *K. ivorensis* sont souvent endommagés par les écureuils et les porcs-épics qui en consomment l'écorce (CTFT, 1959, 1988 ; Poorter *et al.*, 2004). Ceux de *K. senegalensis* sont très sensibles aux feux, mais ils résistent assez bien à l'état adulte grâce, en partie, au couvert qu'ils procurent, qui réduit considérablement le tapis herbacé à leur pied. Leurs feuilles sont appréciées par le bétail et d'autres herbivores (CTFT, 1988).

Au stade de jeunesse, les acajous sont souvent la proie d'un lépidoptère de la famille des Pyralidae, *Hypsipyla robusta* Moore, communément appelé « foreur des pousses ». Celui-ci attaque la tige principale, entraînant une ramification excessive voire la mort des jeunes pieds, pouvant impacter de manière importante la capacité de régénération (CTFT, 1959 ; Dupuy et M'Bla Koua, 1993 ; Taylor, 1960).

Exigences en termes d'éclaircissement

Les acajous sont des essences de lumière qui peuvent germer aussi bien en plein soleil qu'à l'ombre. Elles peuvent tolérer un léger ombrage durant les stades de jeunesse mais le seuil de tolérance diffère selon les espèces (Aubréville, 1959 ; CTFT, 1979, 1988).

Les semis de *K. ivorensis* peuvent survivre dans une pénombre dense, mais ils ont besoin d'une ouverture ultérieure dans la canopée forestière pour une bonne croissance (Dupuy, 1998). La régénération de cette espèce en forêt n'est pas spécialement favorisée par des perturbations importantes mais elle tire profit de petites trouées et se déploie très bien sur les pentes près des cours d'eau. Elle exige beaucoup moins de lumière que *K. anthotheca* et se régénère rarement en forêt secondaire (Aubréville, 1959 ; Taylor, 1960 ; Voorhoeve, 1965 ; Lemmens, 2008).

Au contraire, la régénération naturelle de *K. anthotheca* paraît fortement entravée sous couvert dense (Dupuy et M'Bla Koua, 1993 ; Dupuy, 1998 ; Kyreh *et al.*, 1999 ; Makana et Thomas, 2005). En République démocratique du Congo (RDC), le taux de survie des semis et la croissance en hauteur de *K. anthotheca* sont plus élevés dans les trouées que dans le sous-bois forestier, où la plupart des semis restent rabougris. Les forêts secondaires résultant d'anciennes jachères offrent des conditions favorables à sa régénération (Makana et Thomas, 2005 ; Maroyi, 2008).

Comme pour l'espèce précédente, *K. grandifoliola* peut germer en plein soleil ou à l'ombre mais sa régénération naturelle est fortement limitée sous un couvert forestier dense. Au Nigeria, par exemple, on a observé que les semis pouvaient s'établir en forêt dense mais qu'ils avaient alors une croissance médiocre et survivaient rarement longtemps. La régénération de cette espèce est plus abondante en lisière forêt-savane que sous forêt, surtout en l'absence de feux (CTFT, 1959 ; Taylor, 1960 ; Opuni-Frimpong, 2008).

Le caractère héliophile de *K. senegalensis* est plus marqué que celui des autres espèces, les jeunes plants supportant mal l'ombrage (Aubréville, 1950). Les éclaircies favoriseraient sa régénération naturelle. Cette régénération est souvent médiocre à partir de graines (Irvine, 1961). Elle peut être abondante dans les savanes mais les semis sont rapidement éliminés si le sol est trop sec et s'ils sont en concurrence avec d'autres espèces, surtout des herbacées (Aubréville, 1950 ; CTFT, 1959, 1979, 1988).

Conclusions et perspectives

Les connaissances actuelles sur les *Khaya* du continent africain permettent-elles d'en séparer les espèces ?

Eu égard à ce qui précède, les connaissances taxonomiques et génétiques actuelles ne permettent pas de séparer clairement les quatre espèces continentales du genre *Khaya*. Les différentes espèces présentent des caractères morphologiques très proches ou aux valeurs qui se recouvrent, ne permettant pas de les individualiser sans ambiguïté. La seule espèce qui semble bien circonscrite est *K. senegalensis*, sur laquelle ont porté la plupart des travaux de génétique. De nombreuses incertitudes demeurent quant à la délimitation des autres espèces, tant au sens biologique que génétique.

La combinaison des caractères botaniques et xylologiques des différents taxons de *Khaya* présente un continuum de variations depuis *K. ivorensis*, vers *K. anthotheca* puis *K. grandifoliola* et enfin *K. senegalensis* ; Leroy (1958) parlait d'un « écocline » entre ces taxons vicariants qui s'échelonnent le long d'un gradient climatique (voir tableau III et figure 2). Toutefois, les résultats d'analyses micromorphologiques (Olowokudejo et Nyananyo, 1990) et chimiques (Adesida *et al.*, 1971 ; Faboya *et al.*, 1980 ; Taylor, 1984) apportent des éléments qui, en Afrique de l'Ouest tout au moins, permettent de bien séparer les quatre taxons. La question qui reste en suspens est la validité taxonomique de ces caractères, en particulier ceux relevant de la chimio-taxonomie (Reynolds, 2007).

Parmi les taxons étudiés, c'est *K. anthotheca* qui pose le plus de problèmes. En effet, les études taxonomiques considèrent ce taxon soit dans un sens étroit, avec un seul synonyme (Styles et White, 1991), soit dans un sens plus large incluant jusqu'à six synonymes (tableau I ; CJBG et SANBI, 2012 ; Bouka *et al.*, 2017). Ce taxon est le plus polymorphe du groupe, ce qui peut expliquer l'incertitude de son statut. Les analyses chimiques semblent toutefois indiquer que *K. niasica* devrait retrouver son statut d'espèce à part entière mais elles révèlent également qu'au moins deux autres chémotypes existent, qui pourraient appartenir à des taxons nouveaux ou anciennement décrits mais mis ultérieurement en synonymie. *Khaya anthotheca* pourrait ainsi receler des « espèces cryptiques » non identifiées actuellement car la spéciation végétale ne s'accompagne pas toujours d'une différenciation morphologique claire (Bickford *et al.*, 2007). L'existence de tels taxons a été démontrée récemment dans le genre *Carapa* L. (Meliaceae ; Kenfack, 2011) et le genre *Milicia* Sim. (Moraceae ; Daïnou *et al.*, 2016), qui renferment aussi des espèces exploitées pour leur bois.

Il faut enfin souligner ici que la relative homogénéité de certains caractères morphologiques ou xylologiques de *K. anthotheca* pourrait résulter d'un échantillonnage inadéquat. En effet, l'analyse des caractéristiques des bois de *Khaya* repose sur un petit nombre d'individus pour chaque espèce, recouvrant mal – surtout pour *K. anthotheca* – la diversité de leur origine géographique, génétique et des conditions de croissance (voir, par exemple, Normand et Sallenave, 1958).

Les caractéristiques écologiques de ces espèces sont-elles bien différenciées ?

Malgré le fait que les *Khaya* semblent s'échelonner le long d'un gradient allant des forêts denses humides sempervirentes aux forêts-galeries et savanes arborées (figure 2 et tableau III), les caractéristiques écologiques de chaque taxon ne peuvent pas toujours être définies avec précision. Ceux qui semblent inféodés à un environnement particulier sont *K. senegalensis* et *K. ivorensis*, les caractéristiques écologiques des deux autres taxons étant plus sujettes à caution. *Khaya grandifoliola* peut en effet être présent dans les mêmes formations végétales que *K. senegalensis* (au sud de l'aire de répartition de cette espèce) ou *K. anthotheca* (au nord de l'aire de répartition de cette espèce).

Encore une fois, le cas de *K. anthotheca* est le plus complexe car le taxon, sous son acception actuelle (CJBG et SANBI, 2012), possède une amplitude écologique très large allant des forêts denses humides semi-décidues de basse altitude aux forêts claires et forêts-galeries d'altitude d'Afrique de l'Est. Cette capacité à occuper des milieux différents aux climats très contrastés laisse supposer que ce taxon pourrait contenir plus d'une entité différente, comme c'est le cas dans le genre *Azelia* J. E. Smith (Donkpegan *et al.*, 2014). Les individus classés originellement sous *K. niasica* – qui présentent un chémotype particulier – poussent en effet dans des conditions écologiques bien différentes des individus situés dans les forêts denses humides de basse altitude, et dans une zone géographiquement séparée des

autres individus classés actuellement sous *K. anthotheca*, ce qui conforte la nécessité de réhabiliter ce taxon.

Vers de nouveaux axes de recherche pour une politique de conservation et une gestion durable de la ressource

Taxonomie, hybridation et statut de conservation des *Khaya*

Compte tenu de la proximité botanique des espèces du genre *Khaya*, la résolution des problèmes taxonomiques au sein de ce groupe nécessite des approches multidisciplinaires combinant les aspects botaniques – y compris de morphométrie –, phylogénétiques, phylogéographiques et xylologiques (Koffi *et al.*, 2010). De nouveaux paramètres tels que la proportion de bois de cœur et d'aubier, qui serait variable selon les taxons d'après les exploitants forestiers (Doya et Likouala Timber, *comm. pers.*), pourraient ainsi être pris en compte, tout comme des caractères d'anatomie sur un échantillon représentatif de l'aire de répartition et des conditions de vie des espèces. Une attention particulière doit être apportée au taxon *K. anthotheca*, qui pourrait renfermer plusieurs taxons.

La biologie moléculaire, par l'utilisation des marqueurs chloroplastiques (ADNcp) et nucléaires, est actuellement d'un grand apport pour la délimitation des espèces (Duminil *et al.*, 2006 ; Koffi *et al.*, 2010 ; Daïnou *et al.*, 2016). Les marqueurs nucléaires, comme les microsatellites et les SNP, peuvent permettre de détecter des génotypes intermédiaires ou des hybrides potentiels (Duminil et Di Michele, 2009 ; Daïnou *et al.*, 2016). L'existence d'hybrides a déjà été prouvée dans les genres *Cedrela* P. Browne (Casanova *et al.*, 1996) et *Swietenia* Jacq. (Helgason *et al.*, 1996) et pourrait être mise en évidence dans le genre *Khaya*, étant donné la proximité et la variabilité morphologique des espèces.

Les marqueurs RAPD, microsatellites et SNP (Chalmers *et al.*, 1994 ; Li *et al.*, 2010 ; Sexton *et al.*, 2010 ; Höltken *et al.*, 2012 ; Karan *et al.*, 2012 ; Pakull *et al.*, 2016) déjà développés pourraient ainsi servir pour étudier les questions de délimitation des espèces et de l'existence des hybrides au sein des acajous d'Afrique via les méthodes d'assignation bayésienne. Ces méthodes ont déjà été utilisées avec succès sur certains groupes tropicaux présentant les mêmes difficultés taxonomiques que les acajous d'Afrique ; c'est le cas des genres *Santiria* Blume (Ikabanga *et al.*, 2017) et *Milicia* T.R. Sim (Daïnou *et al.*, 2016).

Toutefois, si l'existence d'hybrides entre les différentes espèces de *Khaya* (Chevalier, 1928 ; Styles et White, 1991) était confirmée et si un flux de gènes permanent était mis en évidence entre ces taxons, alors certains d'entre eux, considérés comme deux espèces, ne seraient en réalité qu'une seule et même espèce ou pourraient bel et bien représenter des populations d'espèces différentes (Rieseberg *et al.*, 2006) mais qui ont été régulièrement et suffisamment mises en contact les unes avec les autres pendant de longues périodes, comme ce fut le cas dans le genre *Quercus* L. (Petit *et al.*, 2003). En cas d'espèces différentes, la présence d'hybrides traduirait une proximité génétique entre les espèces (Rieseberg et Willis, 2007) et peut-être une spéciation récente comme dans le genre *Haumania* J. Léonard (Ley et Hardy, 2010).

Que l'on aboutisse à la fusion d'espèces ou à leur séparation, cela aura nécessairement un impact sur les stratégies de conservation, car leur répartition géographique serait beaucoup plus grande ou beaucoup plus petite que celle estimée actuellement (Helgason *et al.*, 1996). Alors, le statut « vulnérable » (VU) attribué par l'UICN aux quatre taxons continentaux d'acajous d'Afrique devrait être réévalué (UICN, 2017).

En outre, tous les marqueurs développés à partir des acajous pourraient également être utilisés pour sélectionner des zones prioritaires pour la conservation (zones de forte diversité génétique). Pour *K. senegalensis*, par exemple, les populations de l'Afrique de l'Ouest présentant une forte diversité seraient plus appropriées pour l'échantillonnage.

Taxonomie numérique et intégrative

Bien que permettant la classification des espèces dans une certaine mesure, jusqu'à 60 % des cas (Rieseberg *et al.*, 2006), la taxonomie numérique présente deux grands inconvénients liés aux marqueurs morphologiques sur lesquels elle se base. En effet, ces marqueurs sont souvent limités en nombre et leur expression est parfois dépendante des conditions du milieu, s'agissant de la plasticité phénotypique ou, dans le cas de différentes espèces, convergence adaptative (Dayrat, 2005). La délimitation des espèces présentant une plasticité morphologique ne devrait donc pas s'appuyer sur les caractères morphologiques seuls mais aussi sur les caractères écologiques, géographiques et les marqueurs moléculaires (Dayrat, 2005 ; Daïnou *et al.*, 2016). L'utilisation simultanée des marqueurs morphologiques et des marqueurs génétiques (SNP, microsatellites) via la taxonomie intégrative pourrait être d'un apport capital pour la résolution des problèmes de délimitation d'espèces au sein des acajous d'Afrique. La taxonomie intégrative vise à délimiter les êtres vivants à partir de perspectives multiples et complémentaires comme la morphologie comparative, la génétique des populations, la phylogéographie, l'écologie ou la biologie comportementale (Dayrat, 2005). Chaque marqueur a toutefois ses propres spécificités qui doivent être prises en compte lors de son utilisation (Duminil et Di Michele, 2009). L'application conjointe d'au moins deux méthodes dans certains groupes de plantes, même les plus connus, a conduit à une nouvelle délimitation d'espèces, ou a au moins permis d'en poser les bases. Ce fut le cas pour les genres *Carapa* (Kenfack, 2011), *Santiria* (Koffi *et al.*, 2010 ; Ikabanga *et al.*, 2017), *Milicia* (Daïnou *et al.*, 2016) ou *Greenwayodendron* Verdc. (Dauby *et al.*, 2010).

Spéciation, hypothèses évolutives et écologie

Bien qu'elles occupent des milieux écologiquement bien différenciés, les espèces du genre *Khaya* se retrouvent parfois en mélange à la limite de leurs aires de répartition (figure 2), rappelant ainsi une spéciation parapatrique. Par sa répartition et son amplitude écologique – des savanes soudano-sahéliennes aux forêts denses humides (figure 2) – le genre *Khaya* constituerait un bon modèle pour tester diverses hypothèses évolutives et phylogéographiques et pour étudier l'impact du changement climatique sur la dynamique de la végétation africaine.

La préférence de *K. senegalensis* pour les forêts-galeries et les sols de dépression, mais aussi le piedmont des petits reliefs, suppose que ces milieux pourraient avoir joué le rôle de microrefuges forestiers lors des phases d'assèchement climatique. Le rôle de ces microrefuges au sein de paysages de savane a été mis en évidence pour diverses espèces de Fabaceae-Caesalpinioideae (Leal, 2004) et il peut être fortement suspecté pour les acajous africains.

Du point de vue biogéographique, le gradient de diversité génétique ouest-est observé au sein de *K. senegalensis* pourrait s'expliquer par une réduction du flux génétique vers l'est (Karan *et al.*, 2012), en relation avec des barrières biogéographiques, des variations paléoclimatiques ou des pressions importantes sur les populations du caïllédrat, cette espèce étant largement utilisée comme fourrage pour le bétail et comme plante médicinale (Gaoue et Ticktin, 2009). Ces résultats pourraient également suggérer une origine occidentale de cette espèce, avec des phénomènes de colonisation et de recolonisation lors des changements climatiques passés, en particulier vers l'est de son aire de répartition. Si ces premières données permettent d'émettre des hypothèses sur l'histoire évolutive de *K. senegalensis*, celles-ci doivent encore être testées et affinées, en particulier pour les autres espèces du genre.

Néanmoins, les acajous de forêt pourraient conserver dans leur patrimoine génétique les traces de fragmentations forestières passées, comme cela est le cas pour d'autres espèces (Daïnou *et al.*, 2010 ; Born *et al.*, 2011), permettant de mieux préciser l'existence de possibles refuges de forêts denses humides au cours du Pléistocène et de l'Holocène (Maley, 1996). La grande amplitude écologique de *K. anthothea* (figure 2) pourrait suggérer un flux de gènes important et, par conséquent, une faible différenciation (Daïnou *et al.*, 2011 ; Sexton *et al.*, 2015) ; dans ce cas, les phases d'aridification et de fragmentation forestière observées tout au long du Quaternaire n'auraient pas eu d'influence sur l'organisation de la diversité de cette espèce. Cependant, si une structuration génétique spatiale marquée était démontrée (plusieurs taxons au sein de *K. anthothea*), elle mettrait en évidence une capacité de dispersion génétique bien plus limitée et, par conséquent, un éventuel rôle des refuges forestiers du Quaternaire ou des gradients altitudinaux (*K. nysica* versus *K. anthothea* de basse altitude) dans l'organisation de cette diversité (Daïnou *et al.*, 2010 ; Hardy *et al.*, 2013). Une analyse fine de l'histoire évolutive des acajous d'Afrique fait encore défaut car il n'existe actuellement aucune étude phylogénétique et génétique sur l'ensemble du genre (Koenen *et al.*, 2015).

Enfin, des études sur la phénologie et sur l'autoécologie des *Khaya* devraient être aussi privilégiées afin de mieux caractériser ces espèces d'un point de vue biologique et d'en favoriser la conservation et la gestion durable. Ces études devraient aussi permettre d'obtenir les informations nécessaires pour comprendre la sensibilité de ces espèces et leurs capacités adaptatives face aux changements climatiques passés et de prévoir des scénarios pour les changements à venir (Daïnou *et al.*, 2010).

Remerciements

Nous voudrions remercier les responsables des bibliothèques du Cirad (Montpellier) et du Muséum national d'histoire naturelle (Paris) pour l'aide dans la recherche bibliographique. Il convient de citer aussi M. Dominique Louppe, qui nous a fourni certaines données d'exploitation et d'exportation des acajous. Nous remercions également le Service de coopération et d'action culturelle de l'Ambassade de France au Congo (SCAC), la Fondation internationale pour la science (FIS), le programme de bourses du Bassin du Congo du CARN (CBGP-CARN) et le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) pour avoir financé ce travail.

Références bibliographiques

- Adesida G. A., Adesogan E. K., Okorie D. A., Taylor D. A. H., Styles B. T., 1971. The limonoid chemistry of the genus *Khaya* (Meliaceae). *Phytochemistry*, 10: 1845-1853. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)86448-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)86448-1)
- Andrews F. W., 1952. The flowering plants of the Anglo-Egyptian Sudan. Volume 2. Arbroath, United Kingdom, T. Bunclie, 485 p.
- APG III, 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161: 105-121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
- Arbonnier M., 2010. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. 3^e éd. Versailles, France, Éditions Quæ, 574 p.
- ATIBT, 2016. Nomenclature générale des bois tropicaux. Paris, France, Association technique internationale des bois tropicaux (ATIBT), 152 p. <http://www.fao.org/3/a-be999f.pdf>
- Aubréville A., 1950. Flore forestière soudano-guinéenne : AOF – Cameroun – AEF. Paris, France, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 533 p.
- Aubréville A., 1959. La flore forestière de la Côte d'Ivoire. Tome 2 (2^e éd.). Nogent-sur-Marne, France, Centre technique forestier tropical (CTFT), 341 p.
- Bickford D., Lohman D. J., Sodhi N. S., Ng P. K. L., Meier R., Winker K., et al., 2007. Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 22: 3. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.11.004>
- Born C., Alvarez N., McKey D., Assari S., Wickings E. J., Hossaert-McKey M., et al., 2011. Insights into the biogeographical history of the Lower Guinea Forest Domain: evidence for the role of refugia in the intraspecific differentiation of *Aucoumea klaineana*. *Molecular Ecology*, 20: 131-142. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04919.x>
- Bouka D. U. G., Florence J., Doumenge C., Loumeto J.-J., McKey D., 2017. *Khayae* (Meliaceae) *specierum Nomenclator*. *Adansonia*, 39 : 15-30. <https://doi.org/10.5252/a2017n1a2>
- Casanova A. D., Torres J. M. M., Smith M. del C. B., Barroso J. R. M., Rito A. A., 1996. Integrated management of *Hypsipyla grandella* in nurseries and plantations of Meliaceae in Cuba. In: Floyd R. B., Hauxwell C. (eds). Proceedings of International Workshop on *Hypsipyla* shoot borers in Meliaceae, Kandy, Sri Lanka, 20-23 August 1996. Canberra, Australia, Australian Centre for International Agricultural Research, part B: 175-178. <https://eprints.qut.edu.au/76187/1/76187.pdf>
- Chalmers K. J., Newton A. C., Waugh R., Wilson J., Powell W., 1994. Evaluation of the extent of genetic variation in mahoganies (Meliaceae) using RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 89 : 404-508. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00225387>
- Chevalier A., 1909. Les végétaux utiles de l'Afrique tropicale française : études scientifiques et agronomiques. Fascicule V. Première étude. Bois de la Côte d'Ivoire, volume 5. A. Challamel (éd.), 314 p.
- Chevalier A., 1928. L'agriculture tropicale et subtropicale au Conseil international scientifique de l'Institut international d'agriculture de Rome (7-14 novembre 1927). *Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Coloniale*, 77 : 207-211.
- Chevalier A., 1937. Notes historiques et souvenirs sur les Acajous vrais. *Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Coloniale*, 194 : 709-724. https://www.persee.fr/doc/AsPDF/jatba_0370-3681_1937_num_17_194_5784.pdf
- Cirad, 2017. Base de données sur l'exploitation forestière et exportation de bois – compilées par D. Louppe et C. Doumenge – version 2017. Unité de Recherche Forêts et Sociétés, Cirad Baillarguet. <https://ur-forêts-sociétés.cirad.fr/>
- CJBG et SANBI, 2012. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève (CJBG) et South African National Biodiversity Institute (SANBI). Base de données des plantes d'Afrique. Genève, Suisse. <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/details.php?langue=an&id=208876> (consulté le 20/11/2017)
- CTFT (Centre technique forestier tropical), 1959. *Khaya senegalensis* Jussieu, *Khaya grandifoliola* De Candolle : caractères sylvoles et méthodes de plantation. Bois et Forêts des Tropiques, 68 : 15-20. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/18738>
- CTFT (Centre technique forestier tropical), 1979. Acajou d'Afrique. Bois et Forêts des Tropiques, 183 : 33-48. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/19394>
- CTFT (Centre technique forestier tropical), 1988. *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. Bois et Forêts des Tropiques, 218 : 43-56. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/19581>
- Daïnou K., Bizoux J.-P., Doucet J.-L., Mahy G., Hardy O. J., Heuertz M., 2010. Forest refugia revisited: nSSRs and cpDNA sequences support historical isolation in a wide-spread African tree with high colonization capacity, *Milicia excelsa* (Moraceae). *Molecular Ecology*, 19: 4462-4477. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04831.x>
- Daïnou K., Doucet J.-L., Sinsin B., Mahy G., 2011. Identité et écologie des espèces forestières commerciales d'Afrique centrale : le cas de *Milicia* spp. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 16 : 229-241. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=8699>
- Daïnou K., Blanc-Jolivet C., Degen B., Kimani P., Ndiade-Bouroubo D., Donkpegan A. S. L., et al., 2016. Revealing hidden species diversity in closely related species using nuclear SNPs, SSRs and DNA sequences – a case study in the tree genus *Milicia*. *BMC Evolutionary Biology*, 16: 259. <https://doi.org/10.1186/s12862-016-0831-9>
- Dauby G., Duminil J., Heuertz M., Hardy O. J., 2010. Chloroplast DNA polymorphism and phylogeography of a Central African tree species widespread in mature rainforests: *Greenwayodendron suaveolens* (Annonaceae). *Tropical Plant Biology*, 3: 4-13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12042-010-9041-6>
- Drayat B., 2005. Towards integrative taxonomy. *Biological Journal of the Linnean Society*, 85: 407-415. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2005.00503.x>
- De Jussieu A. H. L., 1830. Mémoire sur les groupes des Méliacées. *Bulletin des Sciences Naturelles et de Géologie*, 23 : 234-241.
- De la Mensbrugge G., 1966. La germination et les plantules des essences arborées de la forêt dense humide de la Côte d'Ivoire. Nogent-sur-Marne, France, Centre technique forestier tropical (CTFT), 389 p.
- De Queiroz K., 2007. Species concepts and species delimitation. *Systematic Biology*, 56: 879-886. <https://doi.org/10.1080/10635150701701083>
- De Wasseige C., de Marcken P., Bayol N., Hiol Hiol F., Mayaux Ph., Desclée B., et al., 2012. Les forêts du bassin du Congo. État des forêts 2010. Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne, 276 p. https://www.observatoire-comifac.net/docs/edf2010/FR/Etat-des-forets_2010.pdf
- De Wilde H. J. F. E., 2015. Meliaceae. In : Flore du Gabon, volume 47. Margraf Verlag, 5-74.
- Détienne P., 1979. Les erreurs dans les dénominations commerciales des bois tropicaux. Bois et Forêts des Tropiques, 186 : 61-64. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/19381/19140>
- Détienne P., 1991. Clé de reconnaissance par les feuilles des Légumineuses des forêts du Cameroun, Congo, Gabon et de la R.C.A. Bois et Forêts des Tropiques, 230 : 39-52. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/19685>

- Donkpegan A. S. L., Hardy O. J., Lejeune P., Oumou M., Daïnou K., Doucet J.-L., 2014. Un complexe d'espèces d'*Azelia* des forêts africaines d'intérêt économique et écologique (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18 : 233-246. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=11078>
- Duminil J., Caron H., Scotti I., Cazal S.-O., Petit R. J., 2006. Blind population genetics survey of tropical rainforest trees. *Molecular Ecology*, 15: 3505-3513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2006.03040.x>
- Duminil J., Di Michele M., 2009. Plant species delimitation: a comparison of morphological and molecular markers. *Plant Biosystems*, 143: 528-542. <https://doi.org/10.1080/11263500902722964>
- Duminil J., Brown R. P., Ewédjè E.-E. B. K., Mardulyn P., Doucet J.-L., Hardy O. J., 2013. Large scale pattern of genetic differentiation within African rainforest trees: insights on the role of ecological gradients and past climate changes on the evolution of *Erythrophleum* spp. (Fabaceae). *BMC Evolutionary Biology*, 13: 195-208. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-13-195>
- Dupuy B., M'Bla Koua, 1993. Les plantations d'Acajou d'Afrique : leur sylviculture en forêt dense humide ivoirienne. *Bois et Forêts des Tropiques*, 236 : 25-42. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/19784>
- Dupuy B., 1998. Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine. Montpellier, France, Cirad-Forêt, Série Forafri, 4, 328 p.
- Eyog-Matig O., 1987. Étude monographique du Caïlcedrat : *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. (Meliaceae). Maroua, Cameroun, IRA/CRF, 26 p.
- Faboya O. O. P., Okogun J. I., Goddard D. R., 1980. Leaf wax n-alkane constituents of the genus *Khaya*. *Phytochemistry*, 19: 2462-2463. <https://www.ldeo.columbia.edu/~polissar/OrgGeochem/bush-mcinerney-2013-2410.pdf>
- Gaoue O. G., Ticktin T., 2009. Effects of harvest of non timber forest products and ecological differences between sites on the demography of African Mahogany. *Conservation Biology*, 24: 605-614. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1523-1739.2009.01345.x>
- Gérard J., Guibal D., Paradis S., Cerre J.-C., 2016. Atlas des bois tropicaux. Caractéristiques technologiques et utilisations. Versailles, France, Éditions Quæ, 999 p.
- Guillard J., 1999. Contribution à l'histoire de l'aménagement dans les pays tropicaux. *Revue Forestière Française*, 51 : 322-332. http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/5740/322_332_RFF_spec_99.pdf?sequence=1
- Hall J. B., Swaine M. D., 1981. Distribution and ecology of vascular plants in a tropical rain forest: Forest vegetation in Ghana. The Hague, Netherlands, W. Junk, 383 p.
- Hardy O. J., Maggia L., Bandou E., Breyné P., Caron H., Chevallier M.-H., *et al.*, 2006. Fine-scale genetic structure and gene dispersal inferences in 10 Neotropical tree species. *Molecular Ecology*, 15: 559-571. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02785.x>
- Hardy O. J., Born C., Budde K., Daïnou K., Dauby G., Duminil J., *et al.*, 2013. Comparative phylogeography of African rain forest trees: A review of genetic signatures of vegetation history in the Guineo-Congolian region. *Comptes Rendus Géoscience*, 345: 284-296. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2013.05.001>
- Helgason T., Russell S. J., Monro A. K., Vogel J. C., 1996. What is mahogany? The importance of a taxonomic framework for conservation. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 122: 47-59. <https://doi.org/10.1006/bojl.1996.0048>
- Höltken A. M., Schröder H., Wischnewski N., Degen B., Magel E., Fladung M., 2012. Development of DNA-based methods to identify CITES protected timber species: a case study in the Meliaceae family. *Holzforschung*, 66: 97-104. <https://doi.org/10.1515/HF.2011.142>
- Ikabanga D. U., Stévant T., Koffi K. G., Monthé F. K., Nzigou D. E. C., Dauby G., *et al.*, 2017. Combining morphology and population genetic analysis uncover species delimitation in the widespread African tree genus *Santiria* (Burseraceae). *Phytotaxa*, 321: 166-180. <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.321.2.2>
- Irvine F. R., 1961. *Woody plants of Ghana*. London, United Kingdom, Oxford University Press, 868 p.
- Karan M., Evans D. S., Reilly D., Schulte K., Wright C., Innes D., *et al.*, 2012. Rapid microsatellite marker development for African mahogany (*Khaya senegalensis*, Meliaceae) using next-generation sequencing and assessment of its intra-specific genetic diversity. *Molecular Ecology Resources*, 12: 344-353. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2011.03080.x>
- Kenfack D., 2011. Resurrection in *Carapa* (Meliaceae): a reassessment of morphological variation and species boundaries using multivariate methods in a phylogenetic context. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 165: 186-221. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2010.01104.x>
- Kerharo J., Bouquet A., 1950. *Plantes médicinales et toxiques de la Côte-d'Ivoire - Haute-Volta*. Paris, France, Vigot Frères, 297 p.
- Khasa P., Furlan V., Lumande K., 1990. Symbioses racinaires chez quelques essences forestières importantes au Zaïre. *Bois et Forêts des Tropiques*, 224 : 27-33. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/19667>
- Koenen E. J. M., Clarkson J. J., Pennington T. D., Chatrou L. W., 2015. Recently evolved diversity and convergent radiations of rainforest mahoganies (Meliaceae) shed new light on the origins of rainforest hyperdiversity. *New Phytologist*, 207: 327-339. <https://doi.org/10.1111/nph.13490>
- Koffi K. G., Heuertz M., Doumenge C., Onana J.-M., Gavory F., Hardy O. J., 2010. A combined analysis of morphological traits, chloroplast and nuclear DNA sequences within *Santiria trimera* (Burseraceae) suggests several species following the biological species concept. *Plant Ecology and Evolution*, 143: 160-169. <https://doi.org/10.5091/plevevo.2010.433>
- Kyereh B., Swaine M. D., Thompson J., 1999. Effect of light on the germination of forest trees in Ghana. *Journal of Ecology*, 87: 772-783. <https://www.jstor.org/stable/2648635>
- Leal M. E., 2004. The African rain forest during the last glacial maximum, an archipelago of forest in a sea of grass. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 96 p. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/25106>
- Lemes M. R., Esashika T., Gaoue O. G., 2011. Microsatellites for mahoganies: twelve new loci for *Swietenia macrophylla* and its high transferability to *Khaya senegalensis*. *American Journal of Botany*, e207-e209. <https://doi.org/10.3732/ajb.1100074>
- Lemmens R. H. M. J., 2008. *Khaya ivorensis* A.Chev. In : Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (éds). *Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Bois d'œuvre 1*. Traduction de : *Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1*. 2008. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA. <http://www.prota4u.org/search.asp> (consulté le 28/07/2015).
- Leroy J.-F., 1958. Contributions à l'étude des forêts de Madagascar. *Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée*, 5 : 593-595. https://www.persee.fr/doc/AsPDF/jatba_0021-7662_1958_num_5_11_2510.pdf
- Ley A. C., Hardy O. J., 2010. Species delimitation in the Central African herbs *Haumania* (Marantaceae) using georeferenced nuclear and chloroplast DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 57: 859-867. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.08.027>
- Li C., Fong Y., Hong Y., 2010. Permanent genetic resources added to molecular ecology resources database 1 April 2010–31 May 2010. *Molecular Ecology Resources*, 10: 1098-1105. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02898.x>
- Makana J. R., Thomas S. C., 2005. Effects of light gaps and litter removal on the seedling performance of six African timber species. *Biotropica*, 37: 227-237. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00030.x>
- Maley J., 1996. The African rain forest – main characteristics of changes in vegetation and climate from the upper Cretaceous to Quaternary. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 104B: 31-73. <https://doi.org/10.1017/S0269727000006114>
- Maroyi A., 2008. *Khaya anthotheca* (Welw.) C.DC. In : Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (éds). *Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Bois d'œuvre 1*. Traduction de : *Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1*. 2008. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA. <http://www.prota4u.org/search.asp> (consulté le 30/07/2015).
- Mayr E., 1942. *Systematics and the origin of species, from the viewpoint of a zoologist*. Harvard University Press, 215 p. <http://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674862500>

- Mboma R., 2012. Caractérisation des essences forestières pour une gestion durable des ressources en Afrique centrale : le cas des andoung au Gabon. Thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, France, 242 p. <http://www.sudoc.fr/184950473>
- Meunier Q., Moubogou C., Doucet J.-L., 2015. Les arbres utiles du Gabon. Gembloux, Belgique, Presses Agronomiques de Gembloux, 340 p. <http://hdl.handle.net/2268/183815>
- Muellner A. N., Savolainen V., Samuel R., Chase M. W., 2006. The mahogany family "out-of-Africa": Divergence time estimation, global biogeographic patterns inferred from plastid rbcL DNA sequences, extant, and fossil distribution of diversity. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 40: 236-250. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.03.001>
- Nicholson S. E., 2004. The nature of rainfall variability over Africa on time scales of decades to millennia. *Global and Planetary Change*, 26: 137-158. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(00\)00040-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(00)00040-0)
- Nikiema A., Pasternak D., 2008. *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. In : Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (éds). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Bois d'œuvre 1. Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1. 2008. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA. <http://database.prota.org/recherche.htm> (consulté le 01/05/2015).
- Nikles D. G., Bevege I., Dickinson G. R., Griffiths M. W., Reilly D. F., Lee D. J., 2008. Developing African mahogany (*Khaya senegalensis*) germplasm and its management for a sustainable forest plantation industry in northern Australia – progress and needs. *Australian Forestry*, 71: 33-47. <https://doi.org/10.1080/00049158.2008.10676269>
- Normand D., 1955. Atlas des bois de la Côte d'Ivoire. Tome 2. Nogent-sur-Marne, France, Centre technique forestier tropical (CTFT), 132 p.
- Normand D., Sallenave P., 1958. Caractéristiques et propriétés des Acajous (*Swietenia* et *Khaya*). Bois et Forêts des Tropiques, 59 : 43-52. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/18724>
- Oliver D., 1868. Flora of Tropical Africa. Vol. 1. London, United Kingdom, Reeve and Co., 489 p.
- Olowokudejo J. D., Nyananyo B. L., 1990. Taxonomy of medicinal plants. I. Epidermal morphology of the genus *Khaya* (Meliaceae) in West Africa. *Feddes Repertorium*, 101: 401-407. <https://doi.org/10.1002/fedr.19901010714>
- Opuni-Frimpong E., 2008. *Khaya grandifoliola* C.DC. In : Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (éds). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Bois d'œuvre 1. Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1. 2008. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA. <http://www.prota4u.org/search.asp> (consulté le 08/09/2017).
- Oteng-Amoako A. A., 2006. 100 tropical African timber trees from Ghana: tree description and wood identification with notes on distribution, ecology, silviculture, ethnobotany and wood uses. Accra, Ghana, Graphic Packaging, 302 p.
- Pakull B., Mader M., Kersten B., Ekue M. R. M., Bouka U. G. B., Paulini M., et al., 2016. Development of nuclear, chloroplast and mitochondrial SNP markers for *Khaya* sp. *Conservation Genetics Resources*, 8: 283-297. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12686-016-0557-4>
- Petit R. J., Bodénès C., Ducousso A., Roussel G., Kremer A., 2003. Hybridization as a mechanism of invasion in oaks. *New Phytologist*, 161: 151-164. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00944.x>
- Poorter L., Bongers F., N'Kouamé F. Y., Hawthorne W. D., 2004. Biodiversity of West African forests. An ecological atlas of woody plant species. Wageningen, Netherlands, CABI Publishing, 521 p.
- Reynolds T., 2007. The evolution of chemosystematics. *Phytochemistry*, 68: 2887-2895. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.06.027>
- Rieseberg L. H., Wood T. E., Baack E. J., 2006. The nature of plant species. *Nature*, 440: 524-527. <https://www.nature.com/articles/nature04402>
- Rieseberg L. H., Willis J. H., 2007. Plant speciation. *Science*, 317: 910-914. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2442920/>
- Sawyer J., 1996. Le commerce du bois. In: Sayer J. A., Harcourt C. S., Collins N. M. (eds). L'atlas pour la conservation des forêts tropicales d'Afrique. Édition française, Doumenge C. (éd.). Paris, France, Jean-Pierre de Monza et UICN France, 55-60.
- Sexton G. J., Frere C. H., Dieters M. J., Godwin I. D., Prentis P. J., 2010. Development and characterization of microsatellite loci for *Khaya senegalensis* (Meliaceae). *American Journal of Botany*, e111–e113. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000300>
- Sexton G. J., Frere C. H., Kalinganire A., Uwamariya A., Lowe A. J., Godwin I. D., et al., 2015. Influence of putative forest refugia and biogeographic barriers on the level and distribution of genetic variation in an African savannah tree, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. *Tree Genetics & Genomes*, 11: 103. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11295-015-0933-3>
- Sosef M., Dauby G., Blach-Overgaard A., van der Burgt X., Catarina L., Damen T., et al., 2017. Exploring the floristic diversity of tropical Africa. *BMC Biology*, 15: 15. <https://doi.org/10.1186/s12915-017-0356-8>
- Staner P., Gilbert G., 1958. Meliaceae. In : Robyns W., Staner P., Demaret F., Germain R., Gilbert G., Hauman L., et al. (éds). Flore du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. Spermatophytes, volume 7. Bruxelles, Belgique, Institut national pour l'étude agronomique du Congo belge (INEAC), 174-180
- Styles B. T., White F., 1991. Meliaceae. In: Balkema A. A. (ed.). Flora of tropical East Africa. Kew, United Kingdom, Royal Botanic Gardens, 68 p.
- Tailfer Y., 1972. Les « Acajous » de la forêt dense zaïroise. Leur identification forestière. Tervuren, Belgique, Musée royal de l'Afrique centrale, Annales série IN-8-Sciences économiques, 8 : 51 p.
- Taylor C. J., 1960. Synecology and silviculture in Ghana. Edinburgh and London, United Kingdom, Thomas Nelson and Sons Ltd, 418 p.
- Taylor D. A. H., 1984. The chemistry of the limonoids from Meliaceae. *Fortschritte der Chemie organischer Naturstoffe*, 45: 1-102. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-7091-8717-3_1
- Thirakul S., 1989. Manuel de dendrologie des forêts denses de la République Centrafricaine. Québec, Canada, Poulin Thériault, 683 p.
- Thirakul S., 1990. Manuel de dendrologie des savanes boisées du Cameroun. Québec, Canada, Poulin Thériault, 523 p.
- UICN, 2017. Catégories et critères de l'UICN pour la Liste Rouge. <http://www.iucnredlist.org/> (consulté le 15/05/2017).
- Van Wyk B., Van Wyk P., 2013. Field guide to trees of southern Africa. Second edition revised. Cape Town, South Africa, Struik Nature, 732 p.
- Vivien J., Faure J.-J., 2011. Arbres des forêts denses d'Afrique centrale. Clohars Carnoët, France, Ngula Kerou, 945 p.
- Voorhoeve A. G., 1965. Liberian high forest trees. A systematic botanical study of the 75 most important or frequent high forest trees, with reference to numerous related species. Wageningen, Netherlands, Centrum voor Landbouwpublikaties en Landbouwdocumentatie, 416 p.
- Wieringa J. J., 1999. *Monopetalanthus* exit. A systematic study of *Aphanocalyx*, *Bikinia*, *Icuria*, *Michelsonia* and *Tetraberlinia* (Leguminosae, Caesalpinioideae). Wageningen Agricultural University Papers, 99: 1-320. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/63688>

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad

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

Dépendance socioculturelle des connaissances locales des usages de *Isobertinia* spp. au Moyen-Bénin, Afrique de l'Ouest

Sessi Gilles Christian ADJAHOSSOU^{1,2}
Dèhouégnon Thierry HOUÉHANOU^{2,3,4}
Mireille TOYI²
Valère Kolawolé SALAKO⁴
Carlos Cédric AHOYO²
Paolo LESSE²
Brice TENTE⁵
Marcel Roland Benjamin HOUINATO²

¹ Direction générale des forêts
et des ressources naturelles (DGFRN)
BP 393, Cotonou
République du Bénin

² Université d'Abomey-Calavi (UAC)
Faculté des sciences agronomiques
(FSA)
Laboratoire d'écologie appliquée (LEA)
01 BP 526, Cotonou
République du Bénin

³ Université de Parakou
Faculté d'agronomie
Laboratoire d'écologie, de botanique
et de biologie végétale
03 BP 125, Parakou
République du Bénin

⁴ Université d'Abomey-Calavi (UAC)
Faculté des sciences agronomiques
(FSA)
Laboratoire de biomathématiques
et d'estimations forestières (LABEF)
04 BP 1525, Cotonou
République du Bénin

⁵ Université d'Abomey-Calavi
Département de géographie
République du Bénin

Auteur correspondant /
Corresponding author:
Sessi Gilles Christian Adjahossou –
christdiord@gmail.com



Photo 1.
Buttes d'igname au sein d'un peuplement à *Isobertinia* spp.
récemment défriché dans la forêt classée de Wari-Marou.
Photo S. G. C. Adjahossou.

Doi : 10.19182/bft2019.339.a31702 – Droit d'auteur © 2018, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 12 février 2018 ;
date d'acceptation : 30 octobre 2018 ; date de publication : 15 janvier 2019.



Licence Creative Commons :
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.
Attribution-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-ND 4.0)

Citer l'article / To cite the article

Adjahossou S. G. C., Houéhanou D. T., Toyi M., Salako V. K., Ahojo C. C., Lesse P., Tente B., Houinato M. R. B., 2019. Dépendance socioculturelle des connaissances locales des usages de *Isobertinia* spp. au Moyen-Bénin, Afrique de l'Ouest. Bois et Forêts des Tropiques, 339 : 33-43. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2019.339.a31702>

RÉSUMÉ

Dépendance socioculturelle des connaissances locales des usages de *Isobерlinia* spp. au Moyen-Bénin, Afrique de l'Ouest

Isobерlinia doka Craib & Stapf et *Isobерlinia tomentosa* (Harms) Craib & Stapf sont deux arbres originaires d'Afrique. Autrefois peu convoités, ils revêtent actuellement une utilité avérée pour les populations locales. Au Moyen-Bénin, l'intégration des savoirs traditionnels relatifs au genre *Isobерlinia* dans les stratégies de développement local demeure importante mais peu documentée. L'objectif de cette étude était d'évaluer, d'une part, les connaissances endogènes relatives aux utilisations des deux essences et, d'autre part, l'effet de cinq facteurs socioculturels ainsi que leurs interactions sur la valeur d'usage des deux essences dans le Moyen-Bénin. Des enquêtes ethnobotaniques ont été conduites auprès de 480 informateurs répartis dans huit groupes socioculturels. La fréquence relative de citation (FRC) et la valeur d'usage (VU) ont été calculées et analysées en utilisant respectivement une analyse en composantes principales (ACP) et des modèles linéaires généralisés (GLM) basés sur la distribution de Poisson. Les Mahi et Nago utilisent plus *I. doka* comme bois de charpente ; les Dendi et Holli utilisent plus *I. tomentosa* comme bois d'œuvre. Les modèles simples à un facteur montrent que, parmi les facteurs testés, le groupe socioculturel détermine les variations de l'usage des deux essences, et l'activité professionnelle influence aussi l'usage de *I. tomentosa*. L'évaluation de l'effet simultané des cinq facteurs sociaux et de leur interaction dans un même modèle multiple montre que les différences de la valeur d'usage de *I. tomentosa* entre les groupes socioculturels peuvent être amplifiées par l'activité professionnelle. Par ailleurs, pour *I. doka*, le modèle incluant uniquement le groupe socioculturel est celui le plus parcimonieux. Les politiques de gestion durable des deux essences devraient intégrer au premier plan les considérations socioculturelles, auxquelles s'ajoutent les appartenances professionnelles et, dans une moindre mesure, la taille du ménage pour *I. tomentosa*.

Mots-clés : savoirs traditionnels, facteurs sociaux, patron d'usage, intensité d'utilisation, interactions, Bénin.

ABSTRACT

Sociocultural reliance on local knowledge of the uses of *Isobерlinia* spp. in Central Benin, West Africa

Isobерlinia doka Craib & Stapf and *Isobерlinia tomentosa* (Harms) Craib & Stapf are both native African tree species. Although considered of little value in the past, they are now proving useful to local populations. In Central Benin, traditional knowledge on the genus *Isobерlinia* is widely applied in local development strategies, but little documented. This study aimed to assess (i) endogenous knowledge on uses of the two species and (ii) the effects of five sociocultural factors, and their interactions, on the use value of the two species in Central Benin. Ethnobotanical surveys were conducted with 480 respondents divided into eight sociocultural groups. Relative frequency of citation (RFC) and use value (UV) were calculated and analysed into their principal components (PCA), and generalised linear models (GLM) were produced based on Poisson distributions. The Mahi and Nago people make more use of *I. doka* as roof timbers; the Dendi and Holli make more use of *I. tomentosa* for building. Simple single-factor models show that among the factors tested, the sociocultural group determines variations in the use of the two species, while professional activities also influence the use of *I. tomentosa*. Our assessment of the simultaneous effects of the five social factors and their interactions in a single multiple model shows that the differences in use value of *I. tomentosa* among the sociocultural groups can be amplified by professional activities. Furthermore, for *I. doka*, the model including sociocultural groups only shows the fewest uses. In developing policies to manage the two species sustainably, sociocultural factors must therefore be a primary consideration, followed by professional categories and, for *I. tomentosa* and to a lesser extent, household size.

Keywords: Traditional knowledge, socio-cultural factors, use pattern, use intensity, interactions, Benin.

RESUMEN

Dependencia sociocultural de los conocimientos locales de los usos de *Isobерlinia* spp. en el Benín Medio, África Occidental

Isobерlinia doka Craib & Stapf e *Isobерlinia tomentosa* (Harms) Craib & Stapf son dos árboles originarios de África. Antaño poco codiciados, actualmente presentan una utilidad demostrada para las poblaciones locales. En el Benín Medio la integración de los saberes tradicionales relativos al género *Isobерlinia* en las estrategias de desarrollo local continúa siendo importante pero poco documentada. El objetivo de este estudio es evaluar (i) los conocimientos endógenos relativos a los usos de las dos especies y (ii) el efecto de cinco factores socioculturales, así como sus interacciones sobre el valor de uso de las dos especies en el Benín Medio. Se han realizado encuestas etnobotánicas a unos 480 informadores pertenecientes a ocho grupos socioculturales. La frecuencia relativa de citación (FRC) y el valor de uso (VU) se han calculado y analizado utilizando respectivamente un análisis de componentes principales (ACP) y modelos lineales generalizados (GLM) basados en la distribución de Poisson. Los Mahi y Nago utilizan más *I. doka* como madera estructural; los Dendi y Holli utilizan más *I. tomentosa* como madera de obra. Los modelos simples de un factor muestran que, entre los factores probados, el grupo sociocultural determina las variaciones del uso de las dos especies, y la actividad profesional influye también en el uso de *I. tomentosa*. La evaluación del efecto simultáneo de los cinco factores sociales y de su interacción en un mismo modelo múltiple muestra que las diferencias del valor de uso de *I. tomentosa* entre los grupos socioculturales pueden ser amplificadas por la actividad profesional. Además, para *I. doka*, el modelo que incluye únicamente el grupo sociocultural es el más parsimonioso. Las políticas de gestión sostenible de las dos especies deberían integrar en primer lugar las consideraciones socioculturales, a las que se añaden las profesionales, y, en menor medida, las dimensiones de los hogares para *I. tomentosa*.

Palabras clave: saberes tradicionales, factores sociales, patrón de uso, intensidad de uso, interacciones, Benín.

Introduction

Originnaire d'Afrique et appartenant à la sous-famille des Caesalpinioideae (Akouègninou *et al.*, 2006), le genre *Isobertinia*, autrefois peu convoité, revêt de nos jours une utilité avérée compte tenu de la dégradation et de l'appauvrissement des forêts denses humides et denses sèches en essences de valeur (Dourma, 2011 ; Louppe, 2012). Identifiées comme des espèces ligneuses susceptibles d'être domestiquées en région tropicale, un intérêt croissant leur est désormais accordé. Cet intérêt vise leur utilisation comme bois énergie, bois de service, bois d'œuvre et phytomédicament pour satisfaire les besoins des populations autochtones (Bellefontaine *et al.*, 2015).

Dans les sociétés africaines, les populations indigènes dépendent étroitement des ressources végétales ligneuses et s'appuient sur leurs connaissances pour faire face aux problèmes quotidiens de pauvreté, de faim et d'insécurité alimentaire (Fandohan *et al.*, 2015 ; Yaoitcha *et al.*, 2015). La dépendance des populations locales africaines vis-à-vis des ressources ligneuses en milieu naturel pourrait dès lors être une menace pour la survie de ces espèces végétales soumises aux pressions humaines (Adjahossou *et al.*, 2016, 2018). De nombreuses études conduites au Bénin (Assogbadjo *et al.*, 2008 ; Fandohan *et al.*, 2010 ; Houéhanou *et al.*, 2011) et ailleurs (Dourma, 2011) se sont intéressées à concilier la subsistance des populations locales avec l'exploitation des ressources ligneuses locales en voie de disparition, en se focalisant sur les aspects ethnobotaniques et socio-économiques.

L'étude des connaissances locales s'avère impérieuse pour capitaliser les savoirs traditionnels dans les stratégies de gestion des ressources naturelles ligneuses de valeur (Yaoitcha *et al.*, 2015 ; Akpona *et al.*, 2017). De même, les connaissances sur la manière dont les facteurs sociaux influencent l'exploitation d'une ressource apparaissent capitales pour envisager une exploitation durable avec les acteurs spécifiques concernés au niveau local. Face à cette problématique d'interaction des facteurs sociaux avec les connaissances sur les ressources locales, plusieurs travaux ont impliqué des facteurs sociaux tels le groupe socioculturel, l'âge ainsi que la taille du ménage, dans l'analyse des savoirs traditionnels pour une gestion judicieuse des ressources locales (Gavin et Anderson, 2017). De plus, certains travaux ont observé que d'autres caractéristiques individuelles comme les responsabilités au niveau familial, la profession, les aptitudes et les capacités intellectuelles pouvaient tout autant influencer la connaissance des ressources ligneuses et leur utilisation au sein d'un groupe (Loubgègnon *et al.*, 2011 ; Fandohan *et al.*, 2017).

En Afrique, la littérature abonde sur les travaux relatifs à la description des structures de peuplements de *Isobertinia* dans différentes forêts (Bationo *et al.*, 2005 ; Dourma, 2011), voire les usages ethnobotaniques courants (Dourma, 2011 ; Louppe, 2012). Au Bénin, afin de mieux orienter les opérations de restauration des ligneux autochtones au cours de cette dernière décennie, des recherches se sont focalisées sur l'importance socioculturelle des plantes en prenant en compte les réalités perçues par les populations locales (Yaoitcha *et al.*, 2015 ; Assogba *et al.*, 2017).

À ce titre, les connaissances en ethnoécologie pour l'intégration des espèces du genre *Isobertinia* dans les stratégies d'utilisation durable et de diversification de la production sylvicole pour la conservation demeurent insuffisamment répandues et documentées. Aussi la présente étude vise-t-elle à documenter les connaissances locales sur les usages du genre *Isobertinia* au Moyen-Bénin, et à évaluer l'effet isolé et simultané de cinq facteurs sociaux (groupe socioculturel, âge, catégorie socioprofessionnelle, niveau d'instruction, taille du ménage) ainsi que leurs interactions sur l'intensité d'utilisation exprimée sous forme de valeur d'usage totale (VU) des deux essences dans le Moyen-Bénin.

Matériels et méthodes

Milieu d'étude

Le milieu d'étude (figure 1) s'étend sur une superficie de 29 888 km² et se situe dans la zone de transition entre les climats subéquatorial du Sud et tropical humide du Nord (Yabi, 2007 ; Oloukoï, 2012). Ces dernières années, la tendance pluviométrique est unimodale à base large et les hauteurs pluviométriques annuelles oscillent entre 900 et 1 300 mm. L'analyse du paysage végétal du Moyen-Bénin montre une anthropisation poussée des formations naturelles par, notamment, l'agriculture et l'exploitation forestière. Plusieurs groupes socioculturels peuplent la zone d'étude avec un taux d'accroissement de la population de 3,61 % entre 2002 et 2013 (INSAE, 2016). Il s'agit des Fon,

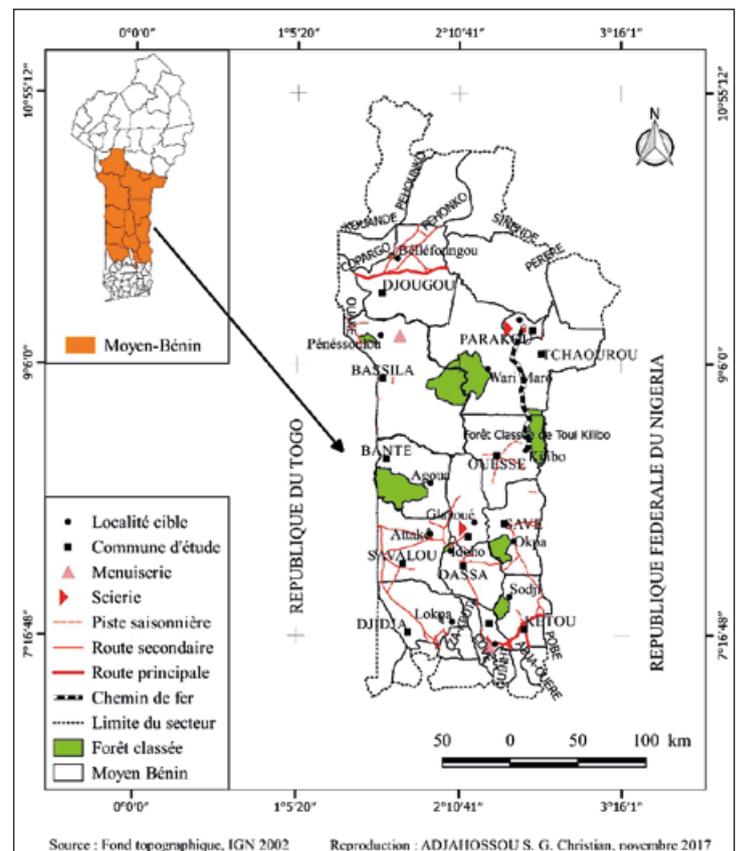


Figure 1. Localisation du milieu d'étude.

ethnobotaniques sus-référencées effectuées au Bénin, il a été défini trois classes d'âge (≤ 40 ans, 41-50 ans, > 50 ans), deux niveaux d'instruction (non instruit et instruit) et deux tailles du ménage (petit ménage et grand ménage). Les non-instruits sont ceux qui ne savent ni lire ni écrire. Les petits ménages ont au plus cinq membres à charge.

Deux indices ethnobotaniques, la fréquence relative de citation (FRC) et la valeur d'usage (VU), ont été calculés.

La FRC a été calculée par groupe socioculturel et par modalité de chaque facteur social examiné (âge, catégorie socioprofessionnelle, niveau d'instruction et taille du ménage) selon la formule :

$FRC = m / N$ (Tardío et Pardo-de-Santayana, 2008 ; Houéhanou *et al.*, 2011)

avec m le nombre de personnes ayant cité l'information dans le groupe cible ; N le nombre total de personnes interviewées dans le groupe cible.

Seules les FRC significatives ($FRC \geq 5\%$) (Gouwakinou *et al.*, 2011 ; Houéhanou *et al.*, 2016 ; Fandohan *et al.*, 2017) ont été prises en compte.

Une analyse en composantes principales (ACP) sur les données de FRC de chaque usage par groupe socioculturel a permis de déterminer les patrons d'usage de chacune des deux espèces en fonction des groupes socioculturels.

Des diagrammes en barre des moyennes de FRC surmontés de barres d'erreur ont été générés pour illustrer l'importance relative des quatre utilisations suivant les facteurs socioculturels (âge, profession, niveau d'instruction et taille du ménage).

Pour évaluer l'intensité des usages en relation avec les facteurs sociaux investigués, la valeur d'usage totale (VU) a été calculée pour chaque essence. La VU est la moyenne des nombres d'usages assignés par les enquêtés à chaque essence :

$$VU = \sum_{i=1}^n U_i / N \text{ (Phillips et Gentry, 1993 ; Fandohan } et al., 2017)$$

avec U_i : nombre d'usages mentionnés par l'informateur i du groupe social, variant de 0 à 4 ; N : nombre total d'informateurs interviewés par modalité de chaque facteur.

La valeur d'usage calculée suit une distribution de Poisson puisqu'il s'agit de la moyenne d'une variable de comptage (Salako *et al.*, 2018). Ainsi, un modèle linéaire généralisé (GLM) de la famille des lois de Poisson a été réalisé pour tester l'effet séparé de chacun des cinq facteurs sociaux sur la VU. Ces modèles étaient donc simples, à un facteur. Toutefois, les effets principaux tels qu'analysés peuvent cacher des effets synergiques de plusieurs facteurs qui peuvent être en revanche captés dans des modèles multiples. Aussi, pour tester l'effet simultané de l'ensemble de ces facteurs ainsi que de leurs interactions sur la VU, un modèle multiple a été construit. Ce modèle inclut les effets principaux de chaque facteur, de même que les interactions possibles d'ordre 2, 3 et 4. Les termes les moins importants ont été ensuite éliminés par une sélection descendante basée sur le test du ratio de vraisemblance (*likelihood ratio test*) jusqu'à ce que le modèle incluant uniquement les termes significatifs soit retenu (Thomas *et al.*, 2013). Toutes les analyses statistiques ont été conduites dans le logiciel R version 3.5.0 (R Core Team, 2018) et le seuil de significativité a été fixé à 5 %. Pour chaque facteur significatif pour les premiers modèles et pour les modèles finaux obtenus, le pseudo-coefficient de détermination de Nagelkerke (1991) a été calculé dans le package « fmsb » (Nakazawa, 2018) du logiciel R afin d'examiner la part des variations de VU expliquée par les facteurs significatifs.

Tableau II.

Noms locaux et significations affectés à *Isobertinia doka* et *I. tomentosa* selon les groupes socioculturels.

Espèce	Groupe socioculturel	Noms locaux	Significations
<i>Isobertinia doka</i>	Mahi	Kpakpa whlala	Plante à croissance rapide
	Nago	Kpakpa odo	Plante aimant les galeries forestières
	Anii	Bokoomba	Plante à feuilles blanches
	Kotokoli	Kpakpattin	Plante dont les fruits à maturité éclatent dans un bruit sec
	Bariba	Bagba	Fruits à maturité éclatant dans un bruit sec
	Dendi	Bagba	Éclatements secs des fruits à maturité
	Holli	Kpakpa whlala	Plante à croissance rapide
	Fon	Kpakpa whlala	Plante à croissance rapide
<i>Isobertinia tomentosa</i>	Mahi	Kpakpa djéké	Plante à croissance moins rapide
	Nago	Kpakpa	Éclatements des fruits à maturité dans un bruit sec
	Anii	Bokoomba kofoornon	Plante à feuilles blanches
	Kotokoli	Kpakpattin	Plante dont les fruits à maturité subissent des éclatements secs
	Bariba	Bagba	Éclatements secs des fruits à maturité
	Dendi	Bagba	Éclatements secs des fruits à maturité
	Holli	Kpakpa djéké	Plante à croissance moins rapide
Fon	Kpakpa djéké	Plante à croissance moins rapide	

Tableau III.

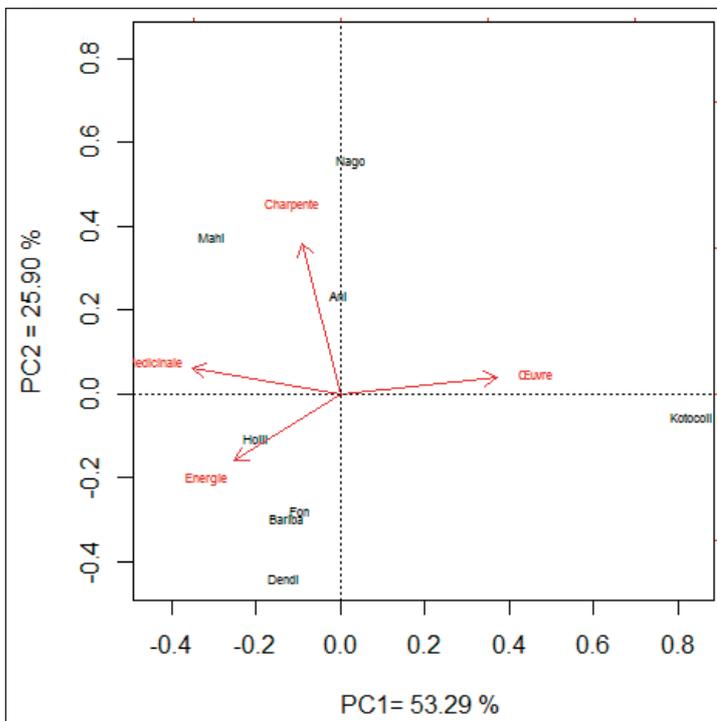
Valeurs propres issues de l'ACP et corrélations entre les usages et les deux premiers axes.

Usages	Axe 1	Axe 2
Corrélations		
Charpente	0,230	0,915
Œuvre	- 0,938	-0,071
Énergie	0,636	- 0,403
Médicinale	0,257	0,257
Valeurs propres issues de l'ACP et proportions		
Valeurs propres	2,131	1,036
% expliqué	53,289	25,901
% cumulé	53,289	79,190

Résultats

Appellations locales de *I. doka* et *I. tomentosa* et leur signification

Les populations enquêtées connaissent les espèces *I. doka* et *I. tomentosa*, les utilisent et les désignent sous diverses appellations selon les groupes socioculturels investigués. Les significations de ces appellations sont surtout liées au mode de croissance, à l'éclatement des fruits, ou à la couleur des feuilles de la plante (tableau II).

**Figure 2.**

Répartition des huit groupes socioculturels utilisant *Isoberlinia doka* sur le plan factoriel principal de l'analyse en composantes principales (ACP) des fréquences relatives de citation (FRC).

**Photo 2.**

Extraction des planches de *Isoberlinia doka* dans la forêt classée de Wari-Marou pour la charpente des maisons. Photo S. G. C. Adjahossou.

Utilisations de *Isoberlinia* spp. en fonction des facteurs sociaux

Patron d'utilisation de *I. doka* en fonction des groupes socioculturels

L'analyse en composantes principales (ACP) des valeurs de la FRC des quatre usages par groupe socioculturel a montré que le plan factoriel principal porte 79,2 % des informations liées à l'usage de *I. doka* (tableau III). Les usages comme bois d'œuvre et bois énergie sont fortement corrélés ($|\text{corrélation}| \geq 0,5$) avec le premier axe ; l'usage pour la charpente est fortement corrélé avec le second axe (tableau III).

La projection des groupes socioculturels sur ces deux premiers axes (figure 2) montre que les Kotocoli utilisent plus *I. doka* comme bois d'œuvre tandis que les Holli, Bariba, Dendi et Fon l'emploient plus comme bois énergie (photo 1). Les Mahi, Nago et Ahi s'intéressent davantage à son utilisation comme bois de charpente (photo 2).

Importance de l'utilisation de *I. doka* suivant l'âge, la profession, la taille du ménage et le niveau d'instruction

Les usages importants de *I. doka* sont le bois énergie, le bois de charpente et le bois d'œuvre, avec généralement des fréquences relatives de citation élevées ($\text{FRC} > 0,5$), tandis que, à l'exception du facteur social âge, les usages médicaux sont moins cités ($\text{FRC} < 0,3$ %) (figure 3). Les personnes adultes sont en général plus concernées par les usages importants ($\text{FRC} > 0,5$) (figure 3a). Les charbonniers affichent généralement les plus fortes valeurs de FRC ($\text{FRC} > 0,98$), en comparaison des autres catégories professionnelles (figure 3b). Les non-instruits ($\text{FRC} > 0,7$) sont ceux qui en général utilisent le plus l'espèce (figure 3c). Les ménages de grande taille ont une plus grande fréquence relative de citation (figure 3d).

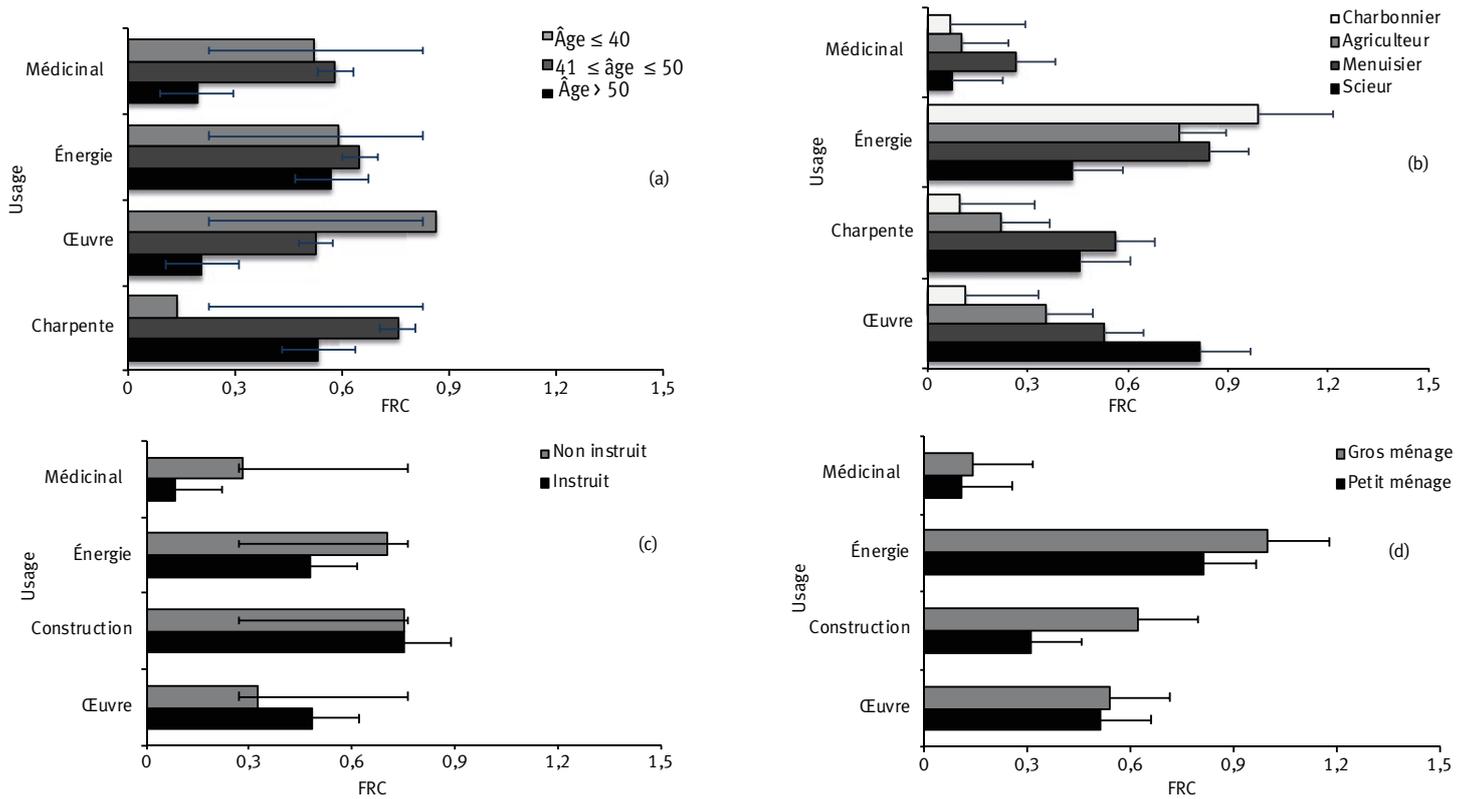


Figure 3. Utilisations de *Isoberlinia doka* (FRC ± erreur type) selon l'âge (a), l'activité socioprofessionnelle (b), le niveau d'instruction (c) et la taille du ménage (d).

Patron d'utilisation de *I. tomentosa* en fonction des groupes socioculturels

L'ACP sur les valeurs de la FRC des quatre usages par groupe socioculturel indique que le plan factoriel principal porte 72,4 % des informations liées à l'usage de *I. tomentosa* (tableau IV). La corrélation des catégories d'usage avec les deux premiers axes (tableau IV) montre que les usages pour le bois d'œuvre et le bois énergie sont fortement corrélés avec le premier axe alors que l'usage pour le bois de charpente et les usages médicinaux sont fortement corrélés avec le second.

La projection des groupes socioculturels sur ces deux premiers axes (figure 4) montre que les Kotokoli, Dendi, Nago, Anii et Mahi ont plus rapporté l'utilisation du bois énergie (photo 3) et d'œuvre (photo 4) tandis que les Bariba ont plus cité l'espèce pour le bois de charpente. Les Holli et Fon utilisent plus l'espèce pour des buts médicinaux, s'agissant notamment de l'utilisation de feuilles, écorces, racines et tiges pour le traitement de douleurs corporelles et de la faiblesse nerveuse ou musculaire des nourrissons.

Importance de l'utilisation de *I. tomentosa* suivant l'âge, la profession, le niveau d'instruction et la taille du ménage

Les usages importants de *I. tomentosa* sont le bois énergie et le bois d'œuvre, avec généralement des fréquences relatives de citation élevées (FRC > 0,50) (figure 5).

Les personnes d'âge élevé (> 40 ans) sont les plus impliquées dans les usages fréquents (FRC > 0,50) (figure 5a). Les scieurs utilisent en général plus l'espèce pour la catégorie d'usage en charpente. Les autres catégories d'usage

Tableau IV. Corrélations entre les catégories d'usage et les deux premiers axes

Usages	Axe 1	Axe 2
Corrélations		
Charpente	- 0,324	0,804
Œuvre	0,796	- 0,272
Énergie	0,863	0,223
Médicinale	- 0,324	- 0,730
Valeurs propres issues de l'ACP et proportions		
Valeurs propres	1,590	1,304
% expliqué	39,756	32,615
% cumulé	39,756	72,371

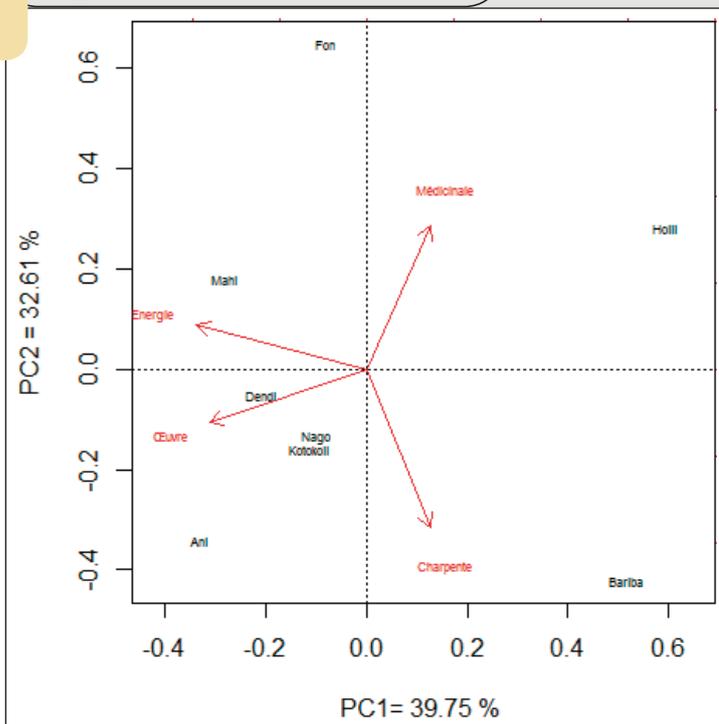


Figure 4.
Répartition des huit groupes socioculturels utilisant *Isoberlinia tomentosa* sur le plan factoriel de l'analyse en composantes principales (ACP) des fréquences relatives de citation (FRC).

sont plutôt plus fréquemment citées par les menuisiers (FRC > 0,55) en comparaison aux autres catégories professionnelles (figure 5b). À l'exception de la catégorie d'usage médicinal ou comme source d'énergie, les personnes instruites utilisent globalement plus l'espèce (FRC > 0,50) que les personnes non instruites (figure 5c). Les ménages ayant une grande taille ont une fréquence relative de citation plus élevée (figure 5d).



Photo 3.
Charbon de bois à base de *Isoberlinia tomentosa* et autres espèces ligneuses à Bassila.
Photo S. G. C. Adjahossou.

Valeur d'usage ethnobotanique des essences du genre *Isoberlinia* en fonction des facteurs sociaux

Variation des usages de *I. doka* en fonction des facteurs sociaux

La valeur d'usage de *I. doka* varie significativement suivant le groupe socioculturel ($p = 5,93 \times 10^{-9}$) qui explique environ le tiers des variations de la VU (pseudo- $R^2 = 0,3253$). Par contre, aucune différence significative n'est notée, ni suivant l'âge ($p = 0,060$), ni suivant la catégorie professionnelle ($p = 0,360$), ni suivant le niveau d'instruction ($p = 0,542$) ou la taille du ménage ($p = 0,876$). Le modèle final obtenu après simplification du modèle multiple initial indique également que seul le groupe socioculturel influençait la VU de *I. doka*. Les Mahi ($2,48 \pm 0,09$) et les Kotokoli ($2,17 \pm 0,09$) ont les VU les plus élevées, alors que les Bariba ($1,07 \pm 0,05$) et les Holli ($1,42 \pm 0,10$) ont les VU les plus faibles, les autres groupes ayant des VU intermédiaires.

Variation des usages de *I. tomentosa* en fonction des facteurs sociaux

La valeur d'usage de *I. tomentosa* varie significativement suivant le groupe socioculturel ($p = 0,0005$; pseudo- $R^2 = 0,1605$), la profession ($p = 0,017$; pseudo- $R^2 = 0,640$), et le type de ménage ($p = 0,014$; pseudo- $R^2 = 0,376$) avec un pouvoir explicatif décroissant tel que l'indiquent les valeurs du coefficient de détermination. Les autres facteurs, notamment l'âge ($p = 0,160$) et le niveau d'instruction ($p = 0,460$), n'ont aucun effet significatif sur la VU. Le modèle final obtenu après simplification du modèle multiple initial indique que le groupe socioculturel et la profession expliquent ensemble 28,8 % des variations de la VU de *I. tomentosa*. Les Holli ($2,07 \pm 0,12$) et les Anii ($2,07 \pm 0,13$) ont les VU les plus élevées tandis que les Bariba ($1,23 \pm 0,08$) et les Dendi ($1,35 \pm 0,10$) ont les VU les plus faibles, les autres groupes ayant des valeurs intermédiaires. Les menuisiers ont la VU la plus élevée ($1,99 \pm 0,11$) alors que les charbonniers ont la VU la plus faible ($1,33 \pm 0,07$).



Photo 4.
Tronc de *Isoberlinia tomentosa* façonné en madrier dans la forêt classée de Wari-Marou.
Photo S. G. C. Adjahossou.

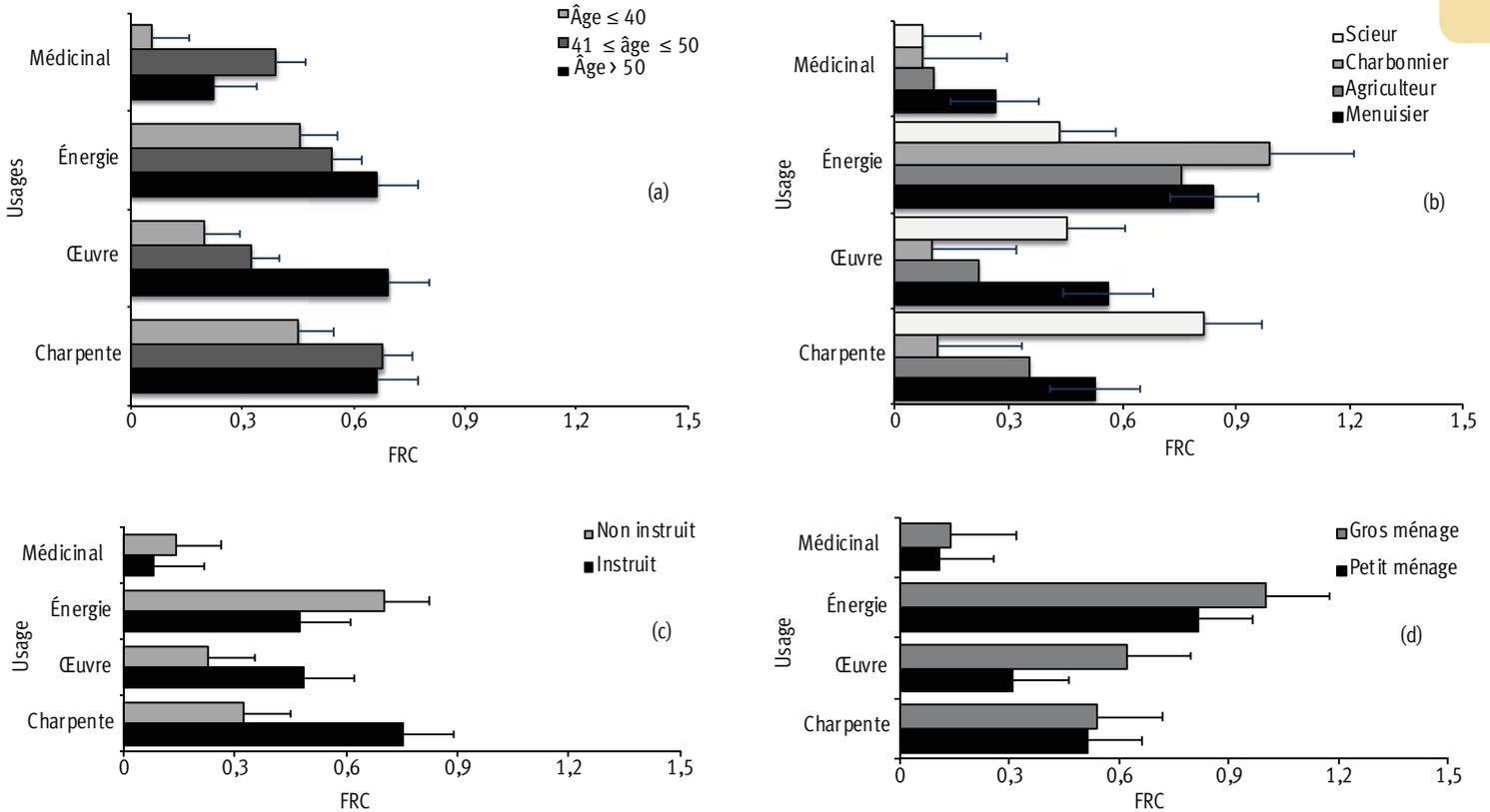


Figure 5. Utilisations de *Isoberlinia tomentosa* (FRC ± erreur type) selon l'âge (a), l'activité socioprofessionnelle (b), le niveau d'instruction (c) et la taille du ménage (d).

Discussion

Variation de l'usage du genre *Isoberlinia* suivant les facteurs sociaux

L'étude a permis de recenser les utilisations des deux essences réparties en quatre catégories d'usage, à savoir le bois d'œuvre, le bois de charpente, le bois énergie et l'usage médicinal. Les résultats renseignent le degré de diversité des usages des deux essences dans le Moyen-Bénin et corroborent les résultats de *Dourma et al.* (2009) au Togo, où ces espèces assurent des fonctions déterminantes dans la vie quotidienne des populations locales. Les différences statistiques significatives des valeurs d'usage entre les groupes socioculturels montrent que l'importance culturelle des espèces varie suivant ces groupes socioculturels, et suggèrent une diversité importante et une spécification des usages au sein des populations locales. Ces spécificités pourraient résulter des perceptions séculaires, des modes de vie et des activités professionnelles des groupes socioculturels (*Houéhanou et al.*, 2011 ; *Sinasson et al.*, 2017). En effet, les Mahi préfèrent *I. doka* pour le bois d'œuvre comparativement aux autres groupes socioculturels alors que les Kotokoli utilisent plus la même espèce pour des besoins de charpente. Généralement, dans le milieu d'étude, les Mahi et les Fon font partie des groupes socioculturels qui se convertissent le plus dans les activités du bois (menuiserie,

exploitants forestiers, scieurs et charbonniers), ceci à cause de la rareté des terres cultivables et la baisse de devises agricoles (*Adjahossou et al.*, 2018). En conséquence, ces groupes ethniques détiennent plus de connaissances liées aux usages du bois. Par ailleurs, il y a une affinité plus grande pour le bois blanc de *I. tomentosa* qui est plus dur que pour celui de *I. doka* qui est moins dur.

Les modèles simples à un facteur montrent que, parmi les facteurs testés, seul le groupe socioculturel détermine à la fois les variations de l'usage des deux essences ; ils témoignent d'une forte concentration des connaissances de *I. tomentosa* au sein des Holli et Anii et de *I. doka* au sein des Mahi et Kotokoli. Ces résultats soutiennent l'hypothèse de connaissances des plantes dépendantes des groupes socioculturels (*Houéhanou et al.*, 2011).

La catégorie socioprofessionnelle se révèle également un facteur important dans la spécification des usages de *I. tomentosa*. Par exemple, les menuisiers détiennent plus de connaissances sur sa bonne qualité technologique et, par conséquent, l'utilisent plus pour le bois d'œuvre. Quant aux Anii, ils l'utilisent surtout comme bois énergie alors que les Holli et Fon emploient préférentiellement l'écorce, la racine et les jeunes plants entiers pour le traitement de diverses affections. Les fréquents prélèvements de racines et écorces exposeraient *I. doka* à des risques de vulnérabilité (*Betti*, 2001 ; *Traoré et al.*, 2011 ; *Badjaré et al.*, 2018). Le penchant des Holli et Fon vers les usages médicaux de *I. tomentosa*

peut s'expliquer par la disponibilité de la ressource dans leur milieu selon l'hypothèse de l'apparence écologique (Albuquerque, 2006). Aussi les ligneux médicinaux les plus prisés tels que *Khaya senegalensis* et *Azelia africana* sont-ils devenus rares dans leurs terroirs. Les usages médicinaux recensés dans cette étude corroborent les nombreux travaux ethnobotaniques déjà réalisés en Afrique sur le genre *Isobertinia*. Ces travaux ont montré qu'en Côte d'Ivoire, l'écorce de *I. tomentosa* sert à traiter les fièvres ainsi que les douleurs corporelles (Ahoba *et al.*, 1995). Au Togo, la macération d'écorce s'utilise pour soigner les lésions de la peau ou comme vermifuge (Dourma *et al.*, 2009) alors qu'au Mali l'infusion de feuilles est utilisée en lavage par les femmes contre la stérilité (Loupe, 2012).

Les modèles multiples des effets principaux des cinq facteurs sociaux investigués sur la variation de la valeur d'usage de *I. tomentosa* montrent des interactions significatives (Thomas *et al.*, 2013) entre le groupe socioculturel et l'activité professionnelle. Ce résultat suggère que les différences entre les groupes ethniques peuvent être amplifiées par l'activité socioprofessionnelle. Par exemple, l'importance culturelle accordée par les Holli et Kotokoli à *I. tomentosa* sur le plan médicinaux est influencée significativement quand ces derniers sont de la catégorie socioprofessionnelle des menuisiers et charbonniers et ceci réciproquement.

Les appellations locales spécifiques des groupes socioculturels relatives aux essences ligneuses dépendent aussi de ces groupes socioculturels et sont liées au vécu quotidien de chaque groupe avec ces arbres (Camou-Guerrero *et al.*, 2008).

Conclusion et implications

Le genre *Isobertinia* participe à la satisfaction de multiples besoins en bois au Moyen-Bénin. Le test des effets principaux des facteurs sociaux pris isolément montre que la valeur d'usage varie significativement suivant le groupe socioculturel pour *I. doka* et suivant l'activité professionnelle, la taille du ménage et le groupe socioculturel pour *I. tomentosa*. L'évaluation des interactions suggère que le groupe socioculturel constitue le facteur le plus déterminant de la valeur d'usage totale de *I. doka* tandis que pour *I. tomentosa*, en plus du groupe socioculturel, s'ajoute l'activité professionnelle.

Nous suggérons la vulgarisation de stratégies d'exploitation durable des deux espèces au sein des groupes socioculturels. Ainsi, des méthodes durables de récolte d'organes des deux essences peuvent être vulgarisées au sein des Fon et Holli. La promotion de la plantation d'espèces alternatives pour les usages basés sur le bois peut être envisagée au sein des groupes sociaux culturels et professionnels ayant une inclination pour les usages du bois des deux espèces étudiées. Au regard du potentiel des essences du genre *Isobertinia* pour la satisfaction des besoins relatifs au bois, la maîtrise des structures spatiales et la sylviculture constituent des contraintes à lever pour leur intégration dans les opérations d'enrichissement de forêts claires et plantations locales. Ceci nécessite toutefois l'acquisition de connaissances scientifiques sur les techniques de

multiplication végétative, peu onéreuses, afin de collecter les meilleurs clones vis-à-vis des demandes privilégiées des exploitants forestiers.

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce aux fonds du Gouvernement béninois à travers l'allocation du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique (MESRS) dans le cadre de l'initiative « Appui aux doctorants ». Les auteurs remercient Joël Adandonon pour son assistance aux analyses statistiques de même que l'assistant de recherche Pathmos Akouete, et enfin Idelphonse Glegbeto et Ruffin Kpatinnou pour l'aide précieuse apportée lors de la collecte de nos données de terrain.

Références bibliographiques

- Adjahossou S. G. C., Houéhanou D. T., Toyi M., Tente B., Houinato M., Sinsin B., 2018. Degré de pression et perception endogène de multiplication et de conservation du genre *Isobertinia* au Moyen-Bénin (Afrique de l'Ouest). Science et Technique, Sciences Naturelles et Appliquées, 4 (1) : 25-38.
- Adjahossou S. G. C., Houéhanou D. T., Sodé A. S., Houinato M. R. B., Sinsin B., 2016. Efficacité des aires protégées dans la conservation d'habitats favorables prioritaires de ligneux de valeur au Bénin. Bois et Forêts des Tropiques, 328 (2) : 67-76. <https://doi.org/10.19182/bft2016.328.a31303>
- Ahoba A., Edi K., Diby K., 1995. Propriétés technologiques et possibilités d'utilisation de sept essences de savane de Côte d'Ivoire. Abidjan, Côte d'Ivoire, IDEFOR/DFO, 27 p.
- Ahoyo C. C., Houéhanou T. D., Yaoitcha A. S., Prinz K., Assogbadjo A. E., Adjahossou S. G. C., Hellwig F., Houinato M. R. B., 2018. A quantitative ethnobotanical approach toward biodiversity conservation of useful woody species in Wari Maro forest reserve (Benin, West Africa). Environment, Development and Sustainability, 20 (5): 2301-2320.
- Akouègninou A., Van der Burg W. J., Van der Maesen L. J. G., Adjakidjè V., Essou J. P., Sinsin B., Yèdomanhan H., 2006. Flore analytique du Bénin. Leiden, Pays-Bas, Backhuys Publishers, 1 034 p.
- Akpona J. D. T., Assogbadjo A. E., Fandohan A. B., Kakaï R. G., 2017. Inventaire et approche multicritères pour identifier les essences prioritaires pour la conservation au Bénin. Bois et Forêts des Tropiques, 333 (3) : 5-16. <https://doi.org/10.19182/bft2017.333.a31461>
- Albuquerque U. P., 2006. Re-examining hypotheses concerning the use and knowledge of medicinal plants: A study in the Caatinga vegetation of NE Brazil. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 2 (1): 30.
- Assogba G. A., Fandohan A. B., Salako V. K., Assogbadjo A. E., 2017. Usages de *Bombax costatum* (Malvaceae) dans les terroirs riverains de la Réserve de biosphère de la Pendjari, République du Bénin. Bois et Forêts des Tropiques, 333 (3) : 17-33. <http://dx.doi.org/10.19182/bft2017.333.a31465>
- Assogbadjo A. E., Glèlè Kakaï R., Chadaré F. J., Thomson L., Kyndt T., Sinsin B., Van Damme P., 2008. Folk classification, perception, and preferences of baobab products in West Africa: consequences for species conservation and improvement. Economic Botany, 62 (1): 74-84.
- Badjaré B., Kokou K., Bigou-laré N., Koumantiga D., Akpakouma A., Adjayi M. B., Abbey G. A., 2018. Étude ethnobotanique d'espèces ligneuses des savanes sèches au Nord-Togo : diversité, usages, importance et vulnérabilité. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 22 : 2-20.

- Bationo B. A., Ouedraogo S. J., Somé A. N., Pallo F., Boussim I. J., 2005. Régénération naturelle de *I. doka* dans la forêt classée du Nazinon (Burkina Faso). Cahiers Agricultures, 14 (3) : 297-304.
- Bellefontaine R., Meunier Q., Ichaou A., Le Boulter H., 2015. Multiplication végétative à faible coût au profit des paysans et éleveurs des zones tropicales et méditerranéennes. Vertigo – La Revue Électronique en Sciences de l'Environnement. <http://vertigo.revues.org/16516>
- Betti J. L., 2001. Vulnérabilité des plantes utilisées comme antipaludiques dans l'arrondissement de Mintom au sud de la réserve de biosphère du Dja (Cameroun). Systematics and Geography of Plants, 71: 661-678.
- Camou-Guerrero A., Reyes-García, Martínez-Ramos M., Cassa A., 2008. Knowledge and use value of plants species in a Raramuri community: a gender perspective for conservation. Human Ecology, 36: 259-272. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10745-007-9152-3>
- Dagnelie P., 1998. Statistiques théoriques et appliquées. Bruxelles, Belgique, De Boeck Services, 517 p.
- Dourma M., 2011. Les forêts claires à *Isobertinia doka* Craib & Stapf et *I. tomentosa* (Harms) Craib & Stapf (Fabaceae) en zone soudanienne du Togo : écologie, régénération naturelle et activités humaines. Résumé de thèse d'État. Acta Botanica Gallica, 158 (1) : 141-144, 2011.
- Dourma M., Wala K., Bellefontaine R., Batawila K., Guelly A. K., Akpagana K., 2009. Comparaison de l'utilisation des ressources forestières et de la régénération entre deux types de forêts claires à *Isobertinia* au Togo. Bois et Forêts des Tropiques, 302 (4) : 5-19. <http://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/20400>
- Etongo D., Djenontin I. N. S., Kanninen M., Glover E. K., 2017. Assessing use-values and relative importance of trees for livelihood values and their potentials for environmental protection in Southern Burkina Faso. Environment, Development and Sustainability, 19: 1141-1166.
- Fandohan A. B., Chadare F. J., Gouwakinnou G. N., Tovissode C. F., Bonou A., Djonlonkou S. F. B., Houndelo L. F. H., Sinsin C. L. B., Assogbadjo A. E., 2017. Usages traditionnels et valeur économique de *Synsepalum dulcificum* au Sud-Bénin. Bois et Forêts des Tropiques, 332 (2) : 17-30.
- Fandohan A. B., Gouwakinnou N. G., Déléké Koko K. I. E., Glèlè Kakaï R., Assogbadjo A. E., 2015. Domesticating and conserving indigenous trees species: an ecosystem based approach for adaptation to climate change in Sub-Sahara Africa. CAMES, 3 (1): 55-60.
- Fandohan B. A., Assogbadjo A. E., Glèlè Kakaï R., Kyndt T., de Caluwé T. E., Codjia J. T. C., Sinsin B., 2010. Women's Traditional Knowledge, Use Value, and the Contribution of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) to Rural Households' Cash Income in Benin. Economic Botany, 64 (3): 248-259. <https://doi.org/10.19182/bft2009.302.a20400>
- Gavin M. C., Anderson G. J., 2017. Socioeconomic predictors of forest use values in the Peruvian Amazon: A potential tool for biodiversity conservation. Ecological Economics, 60 (1): 752-762.
- Gouwakinnou G. N., Lykke A. M., Assogbadjo A. E., Sinsin B., 2011. Local knowledge, pattern and diversity of use of *Sclerocarya birrea*. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 7 (1): 1-9.
- Houéhanou D. T., Assogbadjo A. E., Chadare F. J., Zanzo S., Sinsin B., 2016. Approches méthodologiques synthétisées des études d'ethnobotanique quantitative en milieu tropical. Annales des Sciences Agronomiques, 20 : 187-205.
- Houéhanou T. D., Assogbadjo A. E., Glèlè Kakaï R., Houinato M., Sinsin B., 2011. Valuation of local preferred uses and traditional ecological knowledge in relation to three multipurpose tree species in Benin (West Africa). Forest Policy and Economics, 13: 554-562.
- INSAE, 2016. Rapport du Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Résultats : caractéristiques générales de la population. Cotonou, Bénin, INSAE, 8 p.
- Levy P. S., Lemeshow S., 2008. Sampling of populations: Methods and Applications. New York, USA, Wiley, 192 p.
- Lougbégnon T. O., Tente B. A. H., Amontcha M., Codjia J. T. C., 2011. Importance culturelle et valeur d'usage des ressources végétales de la réserve forestière marécageuse de la vallée de Sitatunga et zones connexes. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin, 70 : 35-46.
- Louppe D., 2012. *Isobertinia doka* Craib & Stapf. In : Lemmens R. H. M. J., Louppe D., Oteng-Amoako A. A. (éds). Ressources végétales de l'Afrique tropicale. PROTA 7 (2). Bois d'œuvre 2. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA, 465-470. <http://www.prota4u.org/search.asp>
- Nakazawa M., 2018. fmsb: Functions for Medical Statistics Book with some Demographic Data. R package version 0.6.3. <https://CRAN.R-project.org/package=fmsb>
- Nagelkerke N. J. D., 1991. A Note on a General Definition of the Coefficient of Determination. Biometrika, 78 (3): 691-692. <https://www.jstor.org/stable/i315532>
- Oloukoï J., 2012. Utilité de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique dans l'étude de la dynamique spatiale de l'occupation des terres au Centre du Bénin. Thèse de doctorat unique, FLASH/UAC, Bénin, 304 p.
- Phillips O., Gentry A. H., 1993. The useful plants of Tambopata, Peru: Additional hypothesis testing in quantitative ethnobotany. Economy Botany, 47: 33-43.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Salako K. V., Moreira F., Gbedomon R. C., Tovissodé F., Assogbadjo A. E., Kakaï R. L. G., 2018. Traditional knowledge and cultural importance of *Borassus aethiopicum* Mart. in Benin: interacting effects of socio-demographic attributes and multi-scale abundance. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 14 (1): 36.
- Sinasson G. K. S., Shackleton C. M., Assogbadjo A. E., Sinsin B., 2017. Local knowledge on the uses, habitat, and change in abundance of multipurpose *Mimusops* species in Benin. Economic Botany, 20 (10): 1-18.
- Souto T., Ticktin T., 2012. Understanding interrelationships among predictors (age, gender, and origin) of local ecological knowledge. Economic Botany, 66 (2): 149-164.
- Tardío J., Pardo-de-Santayana M., 2008. Cultural Importance Indices: A Comparative Analysis Based on the Useful Wild Plants of Southern Cantabria (Northern Spain). Economic Botany, 62: 24-39.
- Thomas R., Vaughan I., Lello J., 2013. Data analysis with R statistical software. A guidebook for scientists. 1st edition. Cardiff, United Kingdom, Eco-explore CIC.
- Traoré L., Ouedraogo I., Ouedraogo A., Thiombiano A., 2011. Perceptions, usages et vulnérabilité des ressources végétales ligneuses dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 5 : 258-278.
- Yabi I., 2007. Étude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le Centre du Bénin. Thèse de doctorat unique, FLASH/UAC, Bénin, 239 p.
- Yaoitcha A. S., Houéhanou T. D., Fandohan A. B., Houinato M. R. B., 2015. Prioritization of useful medicinal tree species for conservation in Wari-Marou Forest Reserve in Benin: A multivariate analysis approach. Forest Policy and Economics, 61 (2): 135-146.

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad

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

Tarifs et tables de cubage d'arbres individuels du pin d'Alep, *Pinus halepensis* Mill., dans l'Aurès algérien

Mostefa GOUBI¹
Abdallah BENTOUATI¹
Dalila KHERCHOUCHE¹
Tahar SGHAIER²

¹ Université de Batna 1 Hadj-Lakhdar
Institut des sciences vétérinaires
et des sciences agronomiques
Département des sciences
agronomiques
Route de Biskra
05000 Batna
Algérie

² Institut national de recherches
en génie rural, eaux et forêts (INRGREF)
Rue Hédi EL Karray El Menzah IV
BP 10
2080 Ariana
Algérie

Auteur correspondant /
Corresponding author:
Mostefa GOUBI –
goubimostefa@yahoo.fr



Photo 1.
Pinède des Aurès.
Photo M. Goubi, 2019.

Doi : 10.19182/bft2019.339.a31715 – Droit d'auteur © 2018, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 4 juin 2018 ; date d'acceptation : 29 octobre 2018 ; date de publication : 15 janvier 2019.



Licence Creative Commons :
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.
Attribution-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-ND 4.0)

Citer l'article / To cite the article

Goubi M., Bentouati A., Kherchouche D., Sghaier T., 2019. Tarifs et tables de cubage d'arbres individuels du pin d'Alep, *Pinus halepensis* Mill., dans l'Aurès algérien. Bois et Forêts des Tropiques, 339 : 45-59. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2019.339.a31715>

RÉSUMÉ

Tarifs et tables de cubage d'arbres individuels du pin d'Alep, *Pinus halepensis* Mill., dans l'Aurès algérien

L'objectif de ce travail est d'élaborer des tarifs de cubage d'arbres individuels de pin d'Alep, *Pinus halepensis* Mill., de la pinède des Ouled-Yaâgoub en Algérie. Neuf fonctions linéaires et non linéaires ont été ajustées systématiquement sur des données collectées à partir de 340 arbres, représentatifs des différentes classes de diamètre et de hauteur, choisis parmi les arbres abattus dans le cadre des coupes d'exploitation finales dans les chantiers installés dans la zone étudiée. L'approche adoptée pour l'estimation des paramètres des différentes fonctions testées est basée sur la régression, linéaire et non linéaire, selon la technique des moindres carrés ordinaires pondérés. Des analyses numériques et graphiques basées essentiellement sur la distribution des résidus et la précision des tarifs obtenus ont été employées pour comparer les différentes fonctions étudiées. Deux fonctions ont été retenues pour le cubage d'arbres individuels dans la pinède du massif des Ouled-Yaâgoub en Algérie. La première à une entrée exprime le volume en fonction du diamètre de l'arbre à 1,30 m de hauteur, et la seconde à deux entrées exprime le volume en fonction du diamètre à 1,30 m de hauteur et de la hauteur totale. Les coefficients de détermination ajustés et les carrés moyens résiduels obtenus par ces deux fonctions ou tarifs sont respectivement 0,944 et 109,78 dm³ pour la première et 0,977 et 69,69 dm³ pour la seconde. Enfin, pour une gestion efficace du massif des Ouled-Yaâgoub, l'estimation du volume sur pied des arbres de pin d'Alep doit tenir compte de l'objectif souhaité. Le tarif à une entrée, plus rapide à matérialiser, peut être utilisé pour des interventions sylvicoles telles que les éclaircies alors que le tarif de cubage à deux entrées, qui est plus précis, peut être choisi pour des coupes finales dont le bois sera destiné à la vente où des précisions plus importantes sur les volumes produits sont nécessaires.

Mots-clés : *Pinus halepensis*, tables de cubage, pin d'Alep, Aurès, Algérie.

ABSTRACT

Volume tables for individual specimens of Aleppo pine, *Pinus halepensis* Mill., in Algeria's Aurès mountains

The aim of this study was to develop volume tables for individual Aleppo pine trees, *Pinus halepensis* Mill., in the Ouled-Yaâgoub pine forest in Algeria. Nine linear and non-linear functions were systematically adjusted to the data collected from 340 trees representing the different diameter and height classes and chosen from trees felled during final logging operations in the study site. The approach used to estimate the parameters of the different functions tested is based on linear and non-linear regression applying the ordinary and weighted least-squares technique. Numerical and graphical analyses mainly based on the distribution of residues and the precision of the volume tables obtained were used to compare the different functions tested. Two functions were selected to generate volume tables for individual trees in Algeria's Ouled-Yaâgoub pine forest. The first is a single-entry table expressing volume as a function of tree diameter at a height of 1.30 m; the second is a double-entry table expressing volume as a function of tree diameter at a height of 1.30 m and total tree height. The adjusted determination coefficients and residual least squares obtained with these two functions or tables are respectively 0.944 and 109.78 dm³ for the first and 0.977 and 69.69 dm³ for the second. Finally, to manage the Ouled-Yaâgoub forest efficiently, the estimation of standing Aleppo pine timber must also consider the aim of management operations. The single-entry volume table, which is easier to produce, can be used for forestry operations such as thinning, while the double-entry table, which is more accurate, can be used for the final logging cut to produce marketable timber, for which the volume estimations have to be more accurate.

Keywords: *Pinus halepensis*, volume tables, Aleppo pine, Aurès, Algeria.

RESUMEN

Tarifas y tablas de cubicación de árboles individuales del pino de Alep, *Pinus halepensis* Mill., en el Aurès argelino

El objetivo de este trabajo es elaborar tarifas de cubicación de árboles individuales de pino de Alep, *Pinus halepensis* Mill., de la pineda de Ouled-Yaâgoub, en Argelia. Se han ajustado sistemáticamente nueve funciones lineales y no lineales con los datos recogidos a partir de 340 árboles, representativos de las diferentes clases de diámetro y de altura, elegidos entre los árboles abatidos en el marco de las talas de explotación finales en las obras instaladas en la zona estudiada. El enfoque utilizado para la estimación de los parámetros de las diferentes funciones probadas se basa en la regresión, lineal y no lineal, según la técnica de los mínimos cuadrados ordinarios ponderados. Se han empleado análisis numéricos y gráficos basados esencialmente en la distribución de residuos y la precisión de las tarifas obtenidas para comparar las diferentes funciones estudiadas. Se han seleccionado dos funciones para la cubicación de árboles individuales en la pineda del macizo de Ouled-Yaâgoub, en Argelia. La primera de una entrada expresa el volumen en función del diámetro del árbol a 1,30 m de altura, y la segunda de dos entradas expresa el volumen en función del diámetro a 1,30 m de altura y de la altura total. Los coeficientes de determinación ajustados y los cuadrados medios residuales obtenidos por estas dos funciones o tarifas son respectivamente 0,944 y 109,78 dm³ para la primera y 0,977 y 69,69 dm³ para la segunda. En conclusión, para una gestión eficaz del macizo Ouled-Yaâgoub, la estimación del volumen en pie de los árboles de pino de Alep debe tener en cuenta el objetivo deseado. La tarifa de una entrada, más rápida de materializar, puede ser utilizada para intervenciones silvícolas, tales como aclareos; mientras que la tarifa de cubicación de dos entradas, que es más precisa, puede ser utilizada para talas finales, cuya madera se destinará a la venta donde son necesarias precisiones más importantes sobre los volúmenes producidos.

Palabras clave: *Pinus halepensis*, tablas de cubicación, pino de Alep, Aurès, Argelia.

Introduction

Les tables de cubage constituent un outil essentiel pour une gestion raisonnée des ressources forestières. La connaissance de la structure d'un peuplement, basée sur la distribution des diamètres et des hauteurs, est d'un grand intérêt pour l'évaluation des ressources et des potentialités de production des peuplements forestiers. En effet, une gestion forestière raisonnée et durable exige une évaluation assez précise des potentialités de production des stations forestières. Ces potentialités sont liées en premier lieu à l'estimation du volume des arbres ou des peuplements qui composent la station. Le volume total de l'arbre est une grandeur nécessaire pour l'estimation du carbone stocké par les arbres (Deleuze *et al.*, 2014).

Le calcul des volumes doit être explicité par le mode d'échantillonnage des arbres, les critères de précision qui doivent l'accompagner et la confiance qu'on peut leur accorder (Palm, 1976). En pratique, cette opération porte sur un échantillon d'arbres représentatifs du peuplement ou de la forêt sur lequel sont établies des relations mathématiques appelées tarifs de cubage. La construction des tarifs de cubage par voie mathématique est la plus utilisée. Elle s'est développée grâce à l'utilisation de l'outil informatique. Ces relations doivent avoir une bonne corrélation entre le volume de ces arbres et certains paramètres mesurables tels que le diamètre ou la circonférence pour un tarif de cubage à une entrée et le diamètre et la hauteur pour un tarif de cubage à deux entrées.

Au niveau national, les travaux de recherche menés sur la productivité et la croissance du pin d'Alep sont fragmentaires. Ils se résument au calcul du volume et à l'estimation de la possibilité réalisés dans le cadre des aménagements forestiers sans aucune indication de la précision du volume calculé. Ce manque d'information constitue un handicap quand il s'agit d'évaluer correctement les potentialités d'une espèce forestière. Nous avons donc jugé utile de mener une étude approfondie sur l'évaluation du volume individuel des arbres de pin d'Alep du massif des Ouled-Yaâgoub dans l'Aurès dont les capacités de production de bois sur pied sont très importantes (Bentouati, 2006).

L'objectif de cette étude était d'élaborer des tarifs de cubage à une entrée et à deux entrées en testant plusieurs fonctions, linéaires et non linéaires, sans et avec pondération, et de comparer ces tarifs à d'autres établis pour la même espèce dans les pays voisins.

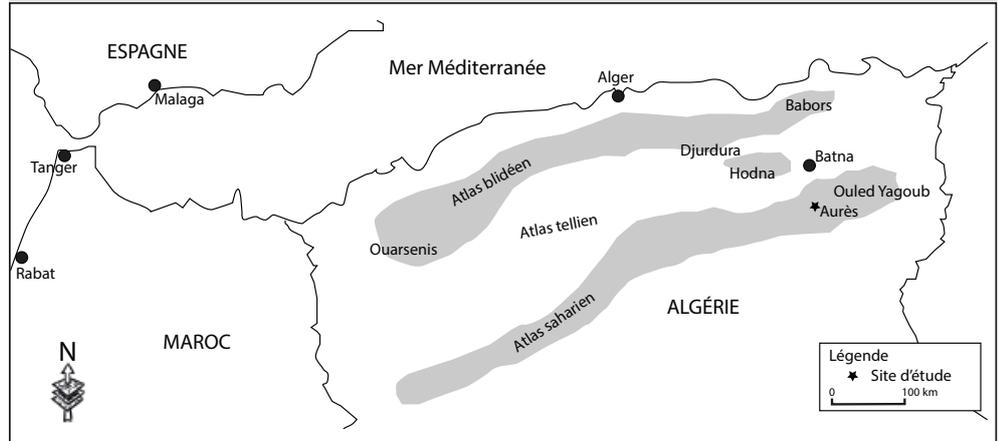


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (forêt des Ouled-Yaâgoub en Algérie) (Bentouati, 2006).

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude fait partie du massif des Ouled-Yaâgoub qui prolonge l'Atlas saharien au nord-est de l'Algérie (figure 1). Couvrant une superficie totale de 4 309 822 ha, le massif est occupé en grande partie par des peuplements de pin d'Alep dont 9 251,96 ha sont situés dans la forêt des Ouled-Yaâgoub. Le massif est constitué principalement, à plus de 70 %, par du pin d'Alep et du chêne vert. Le cèdre de l'Atlas occupe quant à lui moins de 8 % de la superficie totale. La forêt de pins d'Alep se présente sous une structure globale d'aspect jardiné et irrégulier où se différencient, à l'intérieur des peuplements élémentaires, des groupes ou des bouquets d'arbres à structure plus ou moins régulière sur de petites surfaces variables (Bentouati, 2006). Le climat de la zone est assez contrasté. Il se caractérise par une saison estivale longue, sèche et chaude, et des années moins arrosées de plus en plus nombreuses. Les précipitations sont en général faibles et irrégulières. La zone de l'étude reçoit en moyenne entre 300 et 400 mm de précipitations par an. Le régime thermique est relativement homogène. Globalement, la pinède évolue dans des limites de températures moyennes annuelles allant de 13,6 à 14,9 °C. Du point de vue bioclimatique, la majeure partie de la pinède se situe dans l'étage subhumide à hiver froid.

Données expérimentales

L'échantillon qui a servi au calcul des tarifs de cubage provient des coupes d'exploitation entreprises dans la pinède des Ouled-Yaâgoub. Au total, 340 arbres représentatifs des différentes classes de diamètre et de hauteur ont été choisis parmi les arbres abattus. Chaque arbre considéré dans l'échantillon a fait l'objet de mesures de la hauteur

Tableau I.

Répartition des arbres cubés en fonction du diamètre à 1,30 m de hauteur (en cm) et de la hauteur totale (en m).

d (cm)	h (m)								Total	%
	4 - 5,9	6 - 7,9	8 - 9,9	10 - 11,9	12 - 13,9	14 - 15,9	16 - 17,9	18 et +		
5 - 14,9	10	47	1	1					59	17,35
15 - 24,9		13	39	32	7				91	26,76
25 - 34,9			1	21	40	6	2		70	20,59
35 - 44,9				6	32	28	6		72	21,18
45 - 54,9					3	17	15		35	10,29
> 55						3	9	1	13	3,82
Total	10	60	41	60	82	54	32	1	340	100
%	2,94	17,65	12,06	17,65	24,12	15,88	9,41	0,29	100	

totale, la hauteur du bois fort arrêtée à 7 cm et des diamètres à hauteur d'homme (1,30 m de hauteur), au milieu de l'arbre, à la base puis de 25 en 25 cm sur les deux premiers mètres puis de 50 en 50 cm jusqu'à une découpe de 7 cm au fin bout. Le volume du bois fort a été calculé par la méthode des billons successifs selon la formule de Newton/Simpson, et le volume total de l'arbre a été obtenu par la sommation des volumes des billons qui le constituent. Le tableau I présente la répartition des arbres cubés en fonction de leur diamètre à 1,30 m et de leur hauteur totale.

Tarifs de cubage étudiés

Les tarifs de cubage d'arbres individuels sont des fonctions qui expriment souvent le volume (v) bois fort d'un arbre, soit en fonction de son diamètre à hauteur d'homme ou hauteur de poitrine (DHP) ou encore diamètre à 1,30 m (d) de hauteur, soit en fonction de son diamètre à hauteur d'homme et de sa hauteur totale (h). Dans le premier cas où une seule variable explicative est utilisée, on parle de tarif à une entrée, et dans le second cas où on fait recours à deux variables explicatives, on parle de tarif à deux entrées.

Parmi les fonctions les plus utilisées, on peut citer (Thill et Palm, 1979 ; Palm, 1981 ; Sghaier *et al.*, 2008, 2013) :

- $v_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + \varepsilon_i$ (fonction F1)
- $v_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + b_3 d_i^3 + \varepsilon_i$ (fonction F2)
- $v_i = b_0 d_i^h + \varepsilon_i$ (fonction F3)
- $v_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + b_3 d_i^2 h_i + \varepsilon_i$ (fonction F4)
- $v_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + b_3 d_i^3 + b_4 d_i^2 h_i + \varepsilon_i$ (fonction F5)
- $v_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + b_3 d_i^3 + b_4 h_i + b_5 d_i^2 h_i + \varepsilon_i$ (fonction F6)
- $v_i = b_0 d_i^h h_i^{h_2} + \varepsilon_i$ (fonction F7)

Les trois premières fonctions (F1 à F3) sont relatives aux tarifs à une entrée, tandis que les quatre dernières (F4 à F7) sont relatives aux tarifs à deux entrées.

À côté de ces fonctions classiquement utilisées pour l'élaboration des tarifs de cubage d'arbres individuels, nous avons testé dans la présente étude les deux fonctions suivantes (F8 et F9) utilisées par Patrício *et al.* (2005) pour la modélisation de la biomasse aérienne d'arbres individuels :

- $v_i = d_i^{(h_i + h_i^2)} + \varepsilon_i$ (fonction F8)
- $v_i = b_1 d_i^{b_2} e^{(b_3 h_i)} + \varepsilon_i$ (fonction F9)

Dans toutes ces fonctions, v_i représente le volume bois fort de l'arbre i (dm^3), d_i et h_i sont respectivement le diamètre (cm) de l'arbre à 1,30 m de hauteur et la hauteur totale (m) de l'arbre i et ε_i est un résidu, variable aléatoire de moyenne nulle et de variance σ^2 .

L'ajustement des différentes fonctions de cubage étudiées a été effectué à l'aide de la procédure REG de SAS/STAT (SAS, 2004) pour les fonctions polynomiales (F1, F2, F4, F5 et F6) et à l'aide de la procédure MODEL de SAS/ETS (SAS, 2004) pour les fonctions non linéaires (F3, F7, F8 et F9).

Pondération des données

L'homoscédasticité ou la constance de la variance résiduelle est l'une des conditions d'application des méthodes classiques de l'inférence statistique en relation avec les problèmes de régression (Palm, 1994 ; Dagnelie, 2011). Si le modèle est correct, les variances conditionnelles doivent être constantes :

$$\sigma_{v/d}^2 = \sigma^2$$

Si l'homogénéité des variances pour les différentes classes de grosseur n'est pas vérifiée, l'estimateur au sens des moindres carrés ordinaires n'est plus de variance minimum et les différentes procédures d'inférence statistique doivent être modifiées en conséquence. Or, pour un échantillon déterminé d'arbres, la variance des volumes tend à

augmenter avec les grosseurs (Rondeux, 1993). Les écarts en volume, par rapport au modèle de régression, pour les arbres les plus gros, ont donc un effet disproportionné sur l'estimation des coefficients de régression par le fait même que cet effet est proportionnel au carré des écarts.

La régression par la méthode des moindres carrés pondérés constitue l'une de techniques utilisées pour résoudre le problème d'inégalité des variances résiduelles et améliorer l'estimation des paramètres. Cette méthode consiste à déterminer les paramètres de l'équation de régression, en accordant aux résidus des poids w_i , inversement proportionnels à leur variance σ_i^2 . Le calcul des paramètres se fait en minimisant la somme pondérée des carrés des écarts :

$$\sum_{i=1}^n w_i (v_i - \hat{v}_i)^2$$

avec $w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$ correspondant aux poids accordés aux résidus.

Par cette technique, les résidus relatifs aux petits arbres ont plus d'importance que dans la régression ordinaire, et on peut, par conséquent, espérer aboutir à un meilleur ajustement de l'équation au niveau de ces arbres de petites dimensions (Palm, 1994). D'autre part, en présence d'hétérogénéité des variances résiduelles, la régression pondérée conduit à des paramètres dont les variances sont plus petites que celles des paramètres obtenus par la régression non pondérée (Draper et Smith, 1966 ; Theil, 1971).

L'estimation des paramètres de la régression pondérée nécessite la connaissance préalable soit des variances conditionnelles $\sigma_{v/d}^2$, par classe de diamètre (Gerrard, 1966), soit des variances résiduelles $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2$ relatives aux différentes observations (Furnival, 1961). Dans les deux cas, les procédures préconisées sont les suivantes :

1. Variances conditionnelles. L'échantillon de données est réparti par classes de circonférence de telle manière qu'on puisse calculer une variance du volume σ_i^2 pour chaque classe. On calcule par la suite, par régression, la relation existant entre la variance du volume et les dimensions des arbres (par exemple le diamètre, le carré du diamètre ou toute autre puissance du diamètre).

2. Variances résiduelles. Une régression non pondérée est d'abord calculée. Les résidus de cette régression sont répartis par la suite en classes, en fonction d'une variable explicative particulière (par exemple le diamètre). On estime pour les différentes classes de diamètre la variance des résidus, et on calcule, par régression, la relation existant entre les variances résiduelles et les dimensions des arbres.

Dans un cas comme dans l'autre, l'estimation des variances peut être améliorée grâce à une procédure itérative (Cunia, 1964). Les résidus obtenus au cours d'une itération peuvent servir au calcul de nouvelles estimations des variances conduisant à l'ajustement d'une nouvelle régression pondérée. Toutefois, il s'avère souvent qu'une seule itération suffit (Rondeux, 1993), de petites modifications dans le poids de pondération ayant peu d'effet sur les estimations des coefficients de régression.

Pour les deux méthodes d'estimation des variances conditionnelles ou résiduelles, on part des données distribuées préalablement en classes, ce qui suppose que les observations soient assez nombreuses pour être réparties en un nombre suffisant de classes dont l'effectif permet une estimation valable de la variation résiduelle.

Pour cette étude, c'est la procédure basée sur les variances résiduelles (2) qui a été adoptée pour le calcul du poids de pondération à utiliser pour l'ajustement des neuf fonctions retenues pour cette étude.

Critères de comparaison

Tous les tarifs ajustés ont été comparés sur la base de leur capacité d'ajustement, leur capacité de prédiction ainsi que la normalité de la distribution de leurs résidus.

Capacité d'ajustement

▪ Le coefficient de détermination ajusté :

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2}{(n-p) \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}$$

Il représente la part de variabilité de la variable dépendante qui est expliquée par la régression en tenant compte du nombre de paramètres p dans le modèle (n étant le nombre d'observations). Le coefficient de détermination ajusté R_{aj}^2 est utilisé à la place du coefficient de détermination ordinaire R^2 pour comparer des modèles présentant un nombre différent de paramètres (Palm, 1988).

▪ Le biais est évalué comme suit :

$$\text{biais} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)$$

▪ La moyenne quadratique des résidus absolus et la moyenne quadratique des résidus relatifs (Palm, 1981, 1988 ; Rondeux, 1993) :

$$S_a = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2} \quad \text{et} \quad S_r = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i - \hat{v}_i}{\hat{v}_i} \right)^2}$$

La moyenne quadratique des résidus absolus donne l'ordre de grandeur de l'écart absolu existant en moyenne entre la valeur observée v_i et la valeur estimée \hat{v}_i (n étant le nombre d'observations). Elle est essentiellement fonction des erreurs commises sur les gros arbres. La moyenne quadratique des résidus relatifs est liée davantage aux erreurs commises sur les petits arbres. L'ajustement est d'autant meilleur que les valeurs de ces deux paramètres sont faibles.

▪ La normalité de la distribution des résidus : la violation possible de la normalité de la distribution des erreurs a été examinée à l'aide du test de normalité de Ryan-Joiner (Ryan et Joiner, 1976) et de la représentation graphique des quantiles normaux (*QQ-probability plots*). Le test de Ryan-Joiner est une alternative simple au test de normalité de Shapiro-Wilk (de Smith, 2015) utilisé le plus souvent dans les logiciels statistiques. Le principe de ce test repose sur le calcul du coefficient de corrélation entre les résidus ($v_i = e_i - \hat{v}_i$) classés par ordre croissant et les scores normaux ou quantiles normaux (z_j), s^2 étant la variance de ces résidus :

$$\rho_{obs} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i z_i}{\sqrt{s^2(n-1) \sum_{i=1}^n z_i^2}}$$

Les scores normaux ou quantiles normaux (z) sont calculés comme suit :

$$z_i = \Phi^{-1}\left(\frac{i-3/8}{n+1/4}\right)$$

où $\Phi^{-1}(Z)$ correspond à l'inverse de la fonction de répartition cumulative de la distribution normale réduite.

Une valeur de ρ_{obs} proche de l'unité indique que la distribution des résidus peut être considérée comme normale. La normalité des résidus doit être rejetée au niveau de confiance $(1 - \alpha)$ lorsque $\hat{\rho}_{obs} < \rho_\alpha$; les valeurs ρ_α étant reprises dans une table qui est fonction du nombre d'observations n (Looney et Gullledge, 1985). Une représentation graphique des z_i et des e_i , permettant de juger le caractère linéaire de la relation constitue une première approche de ce test.

Capacité de prédiction

La capacité de prédiction des différentes fonctions étudiées est basée sur le calcul des résidus PRESS (*Prediction Sum of Squares*) ou erreurs de prédiction (Sánchez-González *et al.*, 2005, 2007). Ces résidus sont équivalents aux résidus obtenus en omettant chaque fois une observation de la liste des données, en ajustant les paramètres de l'équation avec les autres observations restantes, en estimant la réponse de l'observation omise et en comparant la valeur prédite avec celle observée : $v_i - \hat{v}_{i,-i} = e_{i,-i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) où v_i est le volume observé, $\hat{v}_{i,-i}$ est la valeur estimée de l'observation i (lorsque cette dernière est absente des données utilisées pour l'ajustement des paramètres de l'équation de régression) et n est le nombre d'observations. Chaque équation ou fonction possède dans ce cas n résidus PRESS et la quantité PRESS est définie comme suit :

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_{i,-i})^2$$

Plus la valeur de PRESS est proche de la somme des carrés des écarts résiduels, meilleure est la capacité de prédiction de l'équation de régression en termes de précision. Les résidus PRESS ont été également utilisés pour calculer les critères de comparaison suivants :

- Biais de prédiction :

$$biaisp = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_{i,-i})$$

- Moyenne quadratique des résidus absolus de prédiction :

$$S_{ap} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_{i,-i})^2}$$

- Moyenne quadratique des résidus relatifs de prédiction :

$$S_{rp} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i - \hat{v}_{i,-i}}{\hat{v}_{i,-i}} \right)^2}$$

- Coefficient de détermination de prédiction (press R-square) :

$$R^2_{press} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_{i,-i})^2}{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}$$

Précision des tarifs retenus

Pour les tarifs retenus (un tarif à une entrée et un tarif à deux entrées), les écarts moyens absolus relatifs (EMAR) en pour cent seront calculés par classe de diamètre. Pour une classe de diamètre i d'effectif n_i , l'écart moyen absolu relatif en pour cent est de la forme suivante :

$$EMAR_i = \frac{100}{n_i} \sum_{i=1}^n \left| \frac{v_i - \hat{v}_i}{v_i} \right|$$

Ces écarts qui représentent les erreurs relatives en pour cent commises par chacun des deux tarifs retenus permettent d'apprécier la qualité ou la précision des estimations des volumes par ces tarifs en fonction de la grosseur des arbres.

Résultats

Poids de pondération

Pour vérifier s'il est nécessaire ou non d'effectuer une pondération des données et de déterminer le poids de la pondération à utiliser pour l'ajustement des différentes fonctions étudiées, les 340 arbres échantillonnés ont été répartis en six classes d'amplitude identique de 10 cm de diamètre. Le tableau II présente par classe de diamètre les valeurs moyennes du diamètre et du volume bois fort de l'arbre ainsi que les écarts-types conditionnels du volume.

Comme attendu, le tableau III montre que les écarts-types conditionnels augmentent en fonction de la grosseur des arbres. Ainsi, pour déterminer le poids de pondération à utiliser en cas de besoin, la régression linéaire suivante exprimant les logarithmes des variances conditionnelles en fonction des logarithmes des carrés des diamètres moyens des six classes de diamètre établies a été ajustée :

$$\log(\hat{\sigma}_{v/d}^2) = -3,0083 + 1,7821 \times \log(\bar{d}^2) \text{ avec } r^2 = 0,9859$$

Tableau II.

Valeurs moyennes du diamètre et du volume bois fort de l'arbre et écarts-types conditionnels du volume par classe de diamètre.

Classes de diamètre	Nombres d'arbres	\bar{d} (cm)	\bar{v} (dm ³)	$\hat{\sigma}_{v/d}$ (dm ³)
5 - 14,9	59	11,47	41,856	14,801
15 - 24,9	91	19,92	141,974	53,267
25 - 34,9	70	30,09	368,129	101,952
35 - 44,9	72	38,94	684,201	173,670
45 - 54,9	35	48,60	1 208,11	205,785
55 et +	13	60,55	1 817,76	299,528
Total	340	29,08	459,809	463,813

Tableau III.

Valeurs et précision des paramètres de la fonction F4 ajustée sans et avec pondération des données.

Fonction	Paramètres	Sans pondération				Avec pondération			
		Valeur estimée	$p > t $	E.S.	R ²	Valeur estimée	$p > t $	E.S.	R ²
4	b_0	- 81,736	< 0,0001	18,506	0,977	- 16,175	< 0,0001	3,891	0,975
	b_1	11,494	< 0,0001	1,447		4,922	< 0,0001	0,646	
	b_2	- 0,484	< 0,0001	0,053		- 0,290	< 0,0001	0,040	
	b_3	4,925E-2	< 0,0001	2,3E-3		4,415E-2	< 0,0001	1,9E-3	

E.S. : erreur standard ; R² : coefficient de détermination.

Cette relation dont les deux paramètres sont significatifs ($p < 0,05$) montre bien que la variance conditionnelle est proportionnelle au carré du diamètre moyen :

$$\hat{\sigma}_{v/d}^2 = 0,0494 \times (\bar{d}^2)^{1,7821}$$

On peut considérer donc que la variance du volume est approximativement proportionnelle à $(\bar{d}^2)^2$. Dans ces conditions, on admettra, pour simplifier, que le poids de pondération w_i à utiliser, affectant chaque arbre ou chaque résidu, est égal à $(1/d^2)^2$ ou $1/d^4$.

Pour mesurer l'importance de la pondération pour la qualité des estimations des paramètres des différentes fonctions étudiées et de la distribution de leurs résidus, les paramètres de chaque fonction ont été ajustés sans et avec pondération, sur les données issues des 340 arbres cubés, en utilisant comme poids de pondération la quantité $(1/d^4)$. Le tableau III et la figure 2 présentent les résultats obtenus pour la fonction F4.

Le tableau III montre que la pondération n'a pas amélioré globalement la précision des estimations puisque les deux fonctions obtenues sans et avec pondération expliquent chacune environ 98 % de la variabilité totale de la variable dépendante (volume). Toutefois, la figure 2 qui présente la distribution des résidus en fonction, d'une part, des volumes observés et, d'autre part, du diamètre à 1,30 m pour la même équation F4 ajustée sans (a) et avec (b) pondération montre bien l'importance de la pondération dans ce cas. En effet, l'équation ajustée sans pondération sous-estime les volumes pour des arbres de faible diamètre (jusqu'à environ 15 cm de diamètre), donnant parfois des volumes estimés négatifs en engendrant ainsi des résidus toujours positifs (figure 2a). Après pondération, toutes les estimations deviennent positives et les résidus sont distribués aléatoirement tout autour de la valeur zéro en fonction des volumes ou du diamètre (figure 2b).

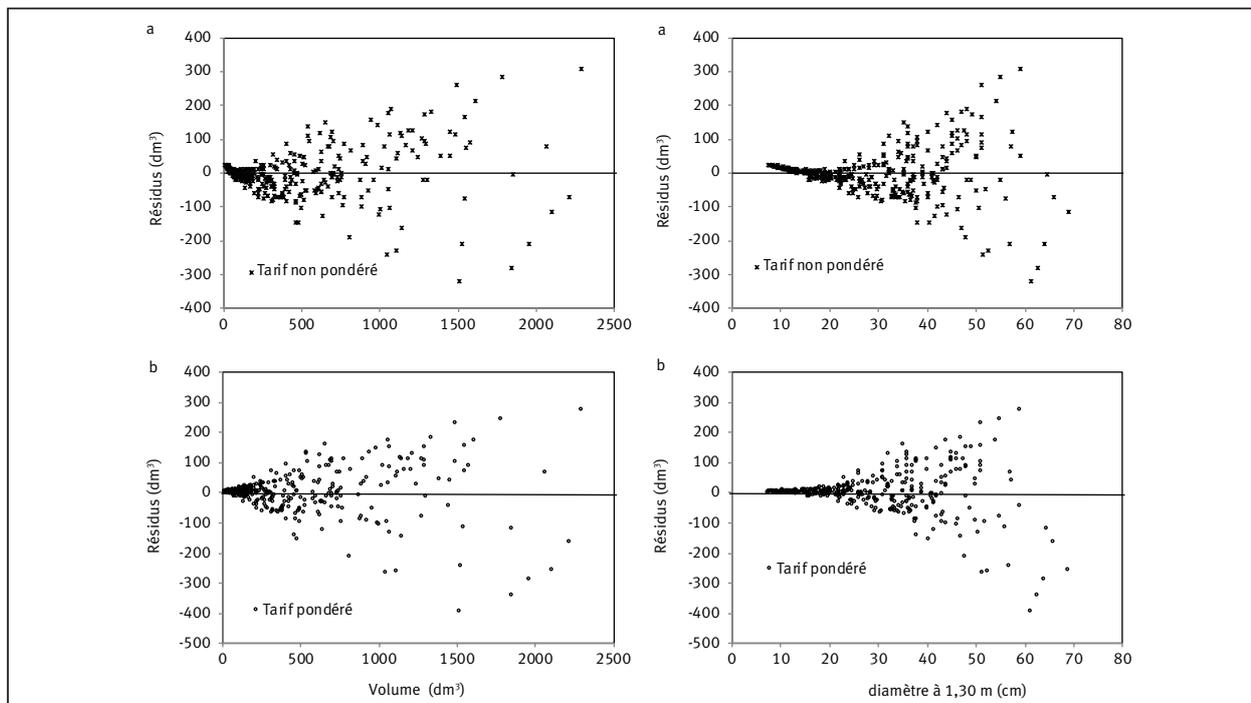


Figure 2. Projection des résidus en fonction du volume et en fonction du diamètre à 1,30 m de hauteur obtenus par le tarif F4 ajusté sans (a) et avec (b) pondération.

Tableau IV.

Tarifs de cubage à une entrée : estimation des paramètres et critères de comparaison.

Fonction	Paramètres	Valeur estimée	$p > t $	Capacité d'ajustement				Capacité de prédiction			
				Biais	S_a	S_r	R^2_{adj}	Biais _p	S_{ap}	S_{rp}	R^2_{press}
1	b_0	42,093	< 0,0001	2,065	109,134	0,165	0,9441	2,078	110,029	0,167	0,9436
	b_1	-7,323	< 0,0001								
	b_2	0,612	< 0,0001								
2	b_0	27,358	0,0030	-0,599	112,379	0,164	0,9406	-0,886	114,793	0,166	0,9386
	b_1	-4,597	0,0035								
	b_2	0,471	< 0,0001								
	b_3	2,0E-3	0,0599								
3	b_0	0,135	< 0,0001	-1,093	111,539	0,170	0,9418	-1,067	112,614	0,171	0,9409
	b_1	2,327	< 0,0001								

 R^2 : coefficient de détermination ; Biais_p : biais de prédiction.

Des résultats comparables à ceux obtenus avec l'équation F4 ont été obtenus avec les autres fonctions quant à l'effet de la pondération sur les volumes estimés et sur la distribution des résidus surtout pour les fonctions polynomiales à une ou à deux entrées (F1, F2, F4, F5 et F6). Ainsi, toutes les neuf fonctions étudiées dans ce travail ont été ajustées en se basant sur la méthode de régression pondérée, en utilisant la quantité ($w_i = 1/d^4$) comme poids de pondération.

Tarifs à une entrée

Le tableau IV présente les résultats de l'ajustement et les critères de comparaison des tarifs à une entrée. D'après ce tableau, seule l'équation F2 possède un paramètre non significatif au seuil 5 % ($p = 0,06$ pour b_3), tandis que tous les paramètres des deux autres fonctions F1 et F3 sont très hautement significatifs ($p < 0,0001$). D'autre part, en se référant aux valeurs des erreurs commises sur les arbres de petits diamètres (S_r) et celles commises sur les arbres de gros diamètres (S_a), c'est l'équation F1 qui présente les valeurs les moins élevées (tableau IV et figure 3) par rapport à F3. Comme pour la capacité d'ajustement, parmi les deux fonctions dont tous les paramètres sont significatifs (F1 et

F3), c'est toujours l'équation F1 qui présente une légère supériorité par rapport à l'équation F3 du point de vue de la capacité de prédiction.

Le graphique des quantiles normaux (*QQ-probability plots*) et le résultat du test de normalité de Ryan-Joiner (figure 4) montrent que les trois fonctions donnent des résidus qui s'écartent légèrement de la distribution normale avec des valeurs de ρ_{obs} de l'ordre de 0,95 et qui sont inférieures à la valeur théorique $\rho_{0,05} = 0,996$. Toutefois, si la distribution des résidus s'écarte de la distribution normale dans les deux extrémités pour les fonctions F2 et F3 (figure 4), celle relative aux résidus de l'équation F1 s'écarte de la distribution normale uniquement vers l'extrémité droite.

En se basant sur l'ensemble des résultats obtenus pour l'ajustement et la comparaison des trois fonctions relatives aux trois tarifs de cubage à une entrée, c'est l'équation F1 qui se présente comme la plus adaptée pour prédire le volume bois fort en fonction du diamètre à 1,30 m de hauteur des arbres individuels de pin d'Alep dans l'Aurès algérien. Cette équation possède la forme suivante :
 $v = 42,093 - 7,323 \times d + 0,612 \times d^2$
avec : $R^2_{aj} = 0,9441$; $\hat{\sigma}_r = 109,782 \text{ dm}^3$ et $\hat{V} = 23,88 \%$.

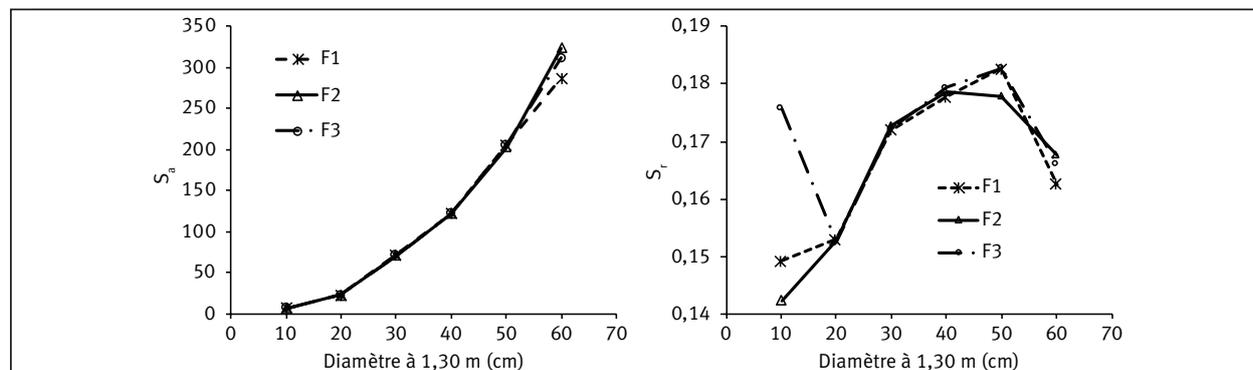


Figure 3.

Tarifs à une entrée – Valeurs moyennes des critères S_a et S_r en fonction des classes de diamètre.

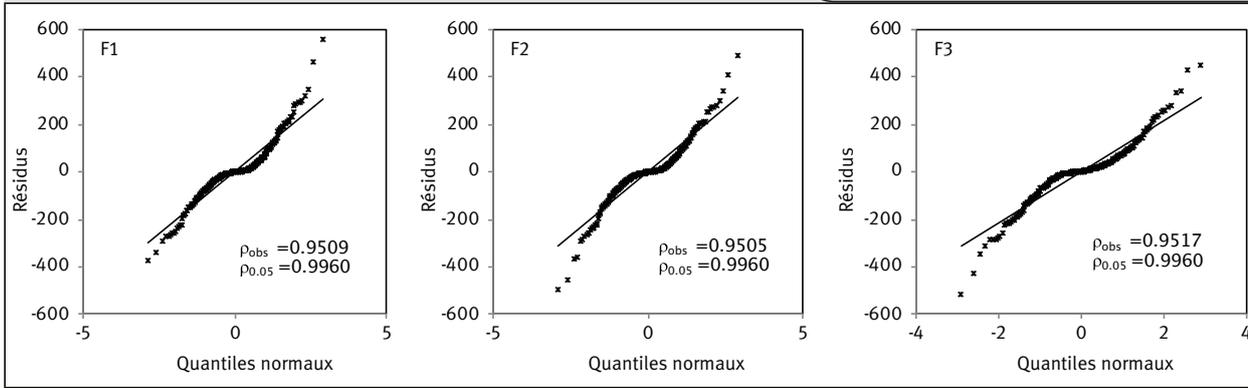


Figure 4. Tarifs de cubage à une entrée – *QQ-probability plots* des résidus et test de normalité de Ryan-Joiner.

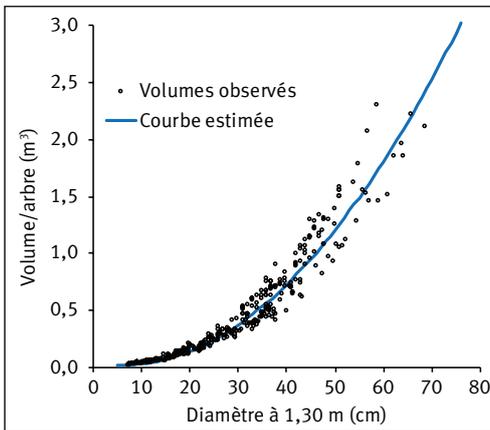


Figure 5. Diagramme des volumes observés en fonction du diamètre à 1,30 m et courbe estimée à l'aide du tarif de cubage pondéré F1.

Ce tarif qui exprime le volume en dm^3 en fonction du diamètre en cm peut être utilisé pour des arbres individuels dont le diamètre à 1,30 m varie entre environ 7 et 70 cm. En dehors de ces limites, le même tarif doit être appliqué avec beaucoup de précaution.

La figure 5 présente la projection sur le même graphique des volumes observés et ceux estimés en fonction du diamètre, matérialisés par une courbe simulée à l'aide de l'équation retenue F1.

Tarifs à deux entrées

Comme pour les tarifs à une entrée, le tableau V présente les résultats de l'ajustement et les critères de comparaison des tarifs à deux entrées. Il ressort de ce tableau que les deux fonctions polynomiales F5 et F6 présentent toutes les deux des coefficients non significatifs (b_0 et b_3 pour F5 et b_0 , b_3 et b_4 pour F6). Parmi les quatre autres fonctions dont tous les paramètres sont très hautement significatifs, à savoir F4, F7, F8 et F9, c'est l'équation F9 qui présente les valeurs les plus faibles en ce qui concerne les erreurs absolues (S_a) ou celles relatives (S_r) ainsi que les valeurs les plus élevées

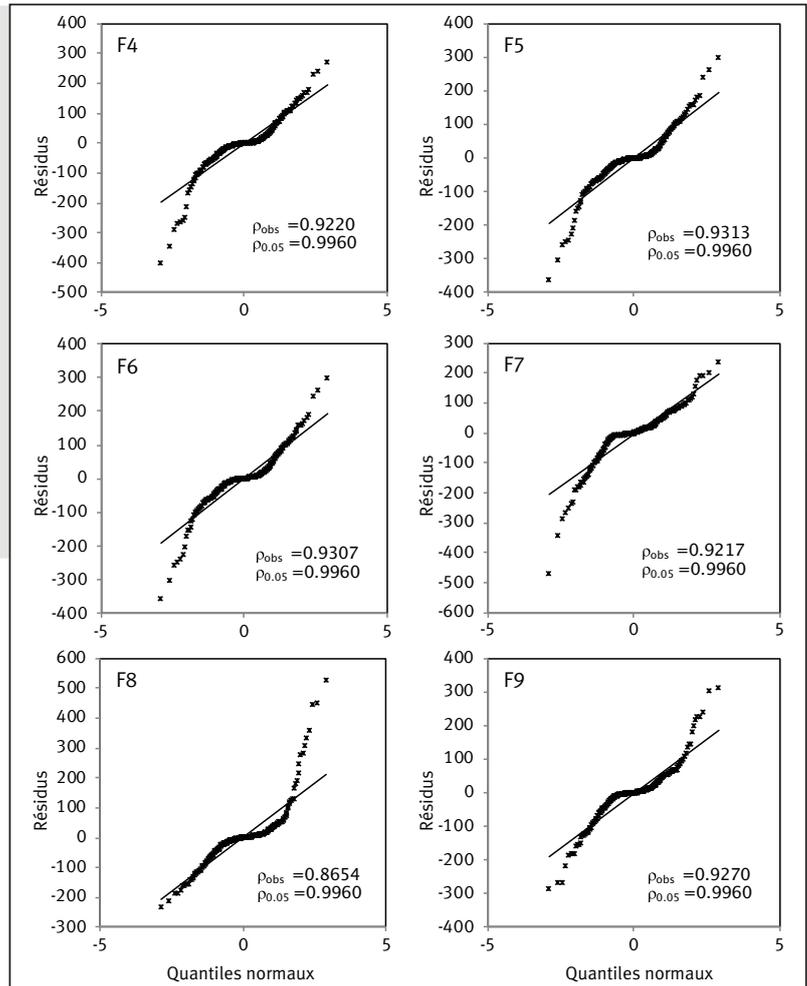


Figure 6. Tarifs de cubage à deux entrées – *QQ-probability plots* des résidus et test de normalité de Ryan-Joiner.

en ce qui concerne la part de variabilité expliquée par cette équation, ceci aussi bien pour la capacité d'ajustement que pour la capacité de prédiction.

La figure 6 relative aux graphiques des quantiles normaux (*QQ-probability plots*) des résidus et des tests de normalité de Ryan-Joiner montre que, parmi les fonctions

Tableau V.

Tarifs de cubage à deux entrées : estimation des paramètres et critères de comparaison.

Fonction	Paramètres	Valeur estimée	$p > t $	Capacité d'ajustement				Capacité de prédiction			
				Biais	S_a	S_r	R^2_{adj}	Biais _p	S_{ap}	S_{rp}	R^2_{press}
4	b_0	-16,175	< 0,0001	-1,532	73,447	0,103	0,9746	-1,554	74,296	0,104	0,9743
	b_1	4,922	< 0,0001								
	b_2	-0,290	< 0,0001								
	b_3	4,415E ⁻²	< 0,0001								
5	b_0	-10,055	0,0903	-0,346	71,025	0,103	0,9762	-0,492	72,640	0,105	0,9754
	b_1	3,805	0,0003								
	b_2	-0,235	< 0,0001								
	b_3	-9,183E ⁻⁴	0,1714								
	b_4	4,465E ⁻²	< 0,0001								
6	b_0	-8,587	0,1654	-0,329	70,609	0,103	0,9764	-0,466	72,267	0,105	0,9757
	b_1	4,338	0,0004								
	b_2	-0,256	< 0,0001								
	b_3	-1,07E ⁻³	0,1234								
	b_4	-0,864	0,4043								
	b_5	4,611E ⁻²	< 0,0001								
7	b_0	6,699E ⁻²	< 0,0001	-4,054	75,481	0,123	0,9733	-4,148	76,315	0,124	0,9729
	b_1	1,688	< 0,0001								
	b_2	1,153	< 0,0001								
8	b_0	1,342	< 0,0001	1,909	82,678	0,113	0,9680	2,083	83,877	0,114	0,9672
	b_1	3,055E ⁻²	< 0,0001								
9	b_0	0,339	< 0,0001	-0,784	69,377	0,104	0,9774	-0,763	70,231	0,104	0,9770
	b_1	1,660	< 0,0001								
	b_2	0,108	< 0,0001								

 R^2 : coefficient de détermination ; Biais_p : biais de prédiction.

dont tous les paramètres sont significatifs, la distribution des résidus obtenus par l'équation F9 s'écarte le moins de la distribution normale par rapport à celles des résidus des autres fonctions avec une valeur de ρ_{obs} de l'ordre de 0,93 contre une valeur théorique $\rho_{0,05} = 0,996$.

D'après la figure 7 qui présente l'évolution des deux types d'erreurs (S_a et S_r) par classe de diamètre, l'équation F9 présente toujours les valeurs les plus faibles des erreurs absolues (S_a) pour toutes les classes de diamètre, indiquant ainsi sa performance de bien estimer le volume des arbres de

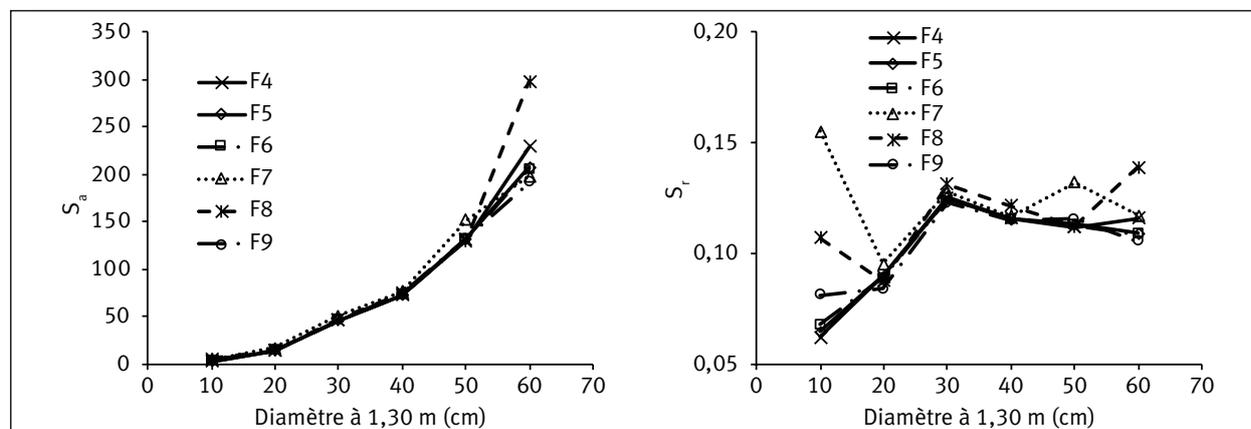


Figure 7.

Tarifs à deux entrées – Valeurs moyennes des critères S_a et S_r en fonction des classes de diamètre.

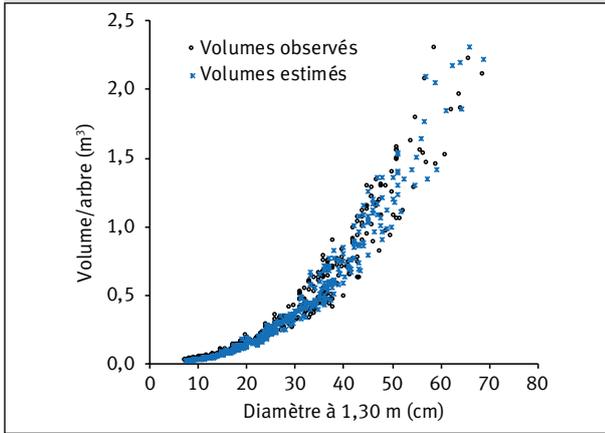


Figure 8. Projection en fonction du diamètre à 1,30 m des volumes observés et des volumes estimés à l'aide du tarif de cubage pondéré F9.

grandes dimensions. En ce qui concerne les erreurs commises sur les petits arbres (S_r) et en considérant uniquement les fonctions dont tous les paramètres sont significatifs, la figure 7 montre également que la même équation F9 est légèrement devancée uniquement par l'équation F4 pour la classe de diamètre de 10 cm, et qu'elle présente toujours les valeurs les plus faibles de S_r pour toutes les autres classes de diamètre.

En se basant sur les résultats d'ajustement et de comparaison des tarifs à deux entrées (tableau V et figures 6 et 7), c'est l'équation F9 qui s'est montrée la plus adéquate à estimer le volume des arbres de pin d'Alep en fonction de

leur diamètre à 1,30 m de hauteur et de leur hauteur totale. Cette équation possède la forme suivante :

$$v = 0,339 \times d^{1,660} e^{(0,108 \times h)}$$

avec : $R^2_{aj} = 0,9774$; $\hat{\sigma}_r = 69,685 \text{ dm}^3$ et $\hat{V} = 15,16 \%$

où le volume v est exprimé en dm^3 , le diamètre d en cm et la hauteur h en m.

Comme pour le tarif de cubage à une entrée, ce tarif à deux entrées doit être utilisé pour des arbres de diamètre variant entre environ 7 et 70 cm et une hauteur variant entre environ 4 et 20 m. En dehors de ces limites, il faut s'attendre à des estimations plus grossières.

La figure 8 qui présente en fonction du diamètre à 1,30 m les volumes observés et ceux estimés à l'aide de l'équation F9 donne une idée de la qualité des estimations effectuées par ce tarif.

Tableaux de cubage

Les deux fonctions retenues relatives aux deux tarifs de cubage à une (F1) et à deux (F9) entrées à utiliser pour le cubage d'arbres individuels des peuplements du pin d'Alep dans l'Aurès algérien sont les suivantes :

$$v = 42,093 - 7,323 \times d + 0,612 \times d^2$$

$$\text{et } v = 0,339 \times d^{1,660} e^{(0,108 \times h)}$$

Le tableau VI présente des volumes bois fort des arbres individuels de pin d'Alep simulés à l'aide des deux tarifs de cubage retenus. Ces volumes sont calculés pour des diamètres variant de 5 à 70 cm par pas de 5 cm et des hauteurs

Tableau VI.

Tableaux de cubage à une et à deux entrées : volume du bois fort de l'arbre en m^3 en fonction du diamètre à 1,30 m (en cm) et de la hauteur totale (en m) pour le tarif à deux entrées, et du bois fort de l'arbre en m^3 en fonction du diamètre à 1,30 m (d_{130} , en cm) pour le tarif à une entrée.

d130 (cm)	Tarif à deux entrées									Tarif à une entrée CVR = 24 %	
	CVR = 15 % Hauteur totale (m)			10	12	14	16	18	20		22
	4	6	8								
5	0,008	0,009	0,012	0,014	0,018						0,021
10	0,024	0,030	0,037	0,046	0,057	0,070					0,030
15	0,047	0,058	0,072	0,089	0,111	0,138					0,070
20		0,094	0,116	0,144	0,179	0,222					0,140
25		0,136	0,168	0,209	0,259	0,322	0,399				0,242
30			0,228	0,283	0,351	0,435	0,540				0,373
35			0,294	0,365	0,453	0,562	0,698	0,866			0,535
40				0,456	0,566	0,702	0,871	1,081			0,728
45				0,554	0,688	0,853	1,059	1,315			0,952
50					0,819	1,017	1,262	1,566	1,943		1,206
55					0,960	1,191	1,478	1,834	2,277	2,825	1,491
60						1,376	1,708	2,119	2,630	3,264	1,806
65						1,552	1,950	2,420	3,004	3,728	2,152
70							2,206	2,737	3,397	4,216	2,528
75								3,070	3,810	4,728	2,935
80								3,417	4,240	5,263	3,373

Tableau VII.

Tarifs de cubage établis pour le pin d'Alep des pays voisins et analyse des résidus.

N°	Équation	Origine	Biais	S _a	S _r
1	$v = 42,093 - 7,323d + 0,612d^2$	Algérie	2,065	109,134	0,165
2	$v = -47,820 + 3,287c + 6,078.10^{-2}c^2 + 9,193.10^{-4}c^3$	Tunisie	-359,046	759,308	0,360
3	$v = 11,39.10^{-7}c^{2,837}$	Maroc	-200,564	416,327	0,332
4	$v = -2,36.10^{-3} + 3,134.0^{-5}c^2$	Maroc	144,605	252,502	0,422
5	$v = 3,589.10^{-7}c^{3,101}$	Maroc	-297,435	632,795	0,485
6	$\log v = -0,769 + 2,346 \log c$	Maroc	-161,390	260,280	0,284
7	$v = 0,00334 - 7.10^{-4}c + 4.10^{-5}c^2$	Maroc	115,077	204,036	0,39
8	$v = 0,339d^{1,66}e^{(0,108h)}$	Algérie	-0,784	69,377	0,104
9	$v = 0,496 \frac{hc^2}{4\pi(1 - \frac{1,30}{h})^2}$	France	-219,405	325,633	0,319
10	$v = 0,077186d^{1,84818}h^{0,88012}$	Espagne	0,139	79,054	0,125
11	$v = 11,56 + 0,033c^2h$	Maroc	-24,251	90,403	0,112
12	$v = 8,69 + 0,034c^2h$	Maroc	-35,700	100,930	0,118
13	$v = 13,49 + 0,032c^2h$	Maroc	-11,863	82,732	0,110
14	$v = 0,011 + 3,07.10^{-6}c^2h$	Maroc	15,412	80,456	0,125

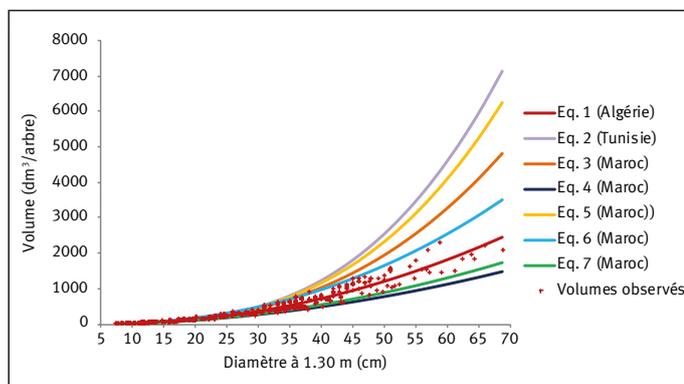
variant de 4 à 22 m par pas de 2 m. Des volumes pour des dimensions particulières d'arbres de pin d'Alep peuvent être obtenus directement à l'aide des fonctions retenues.

Comparaison avec d'autres tarifs

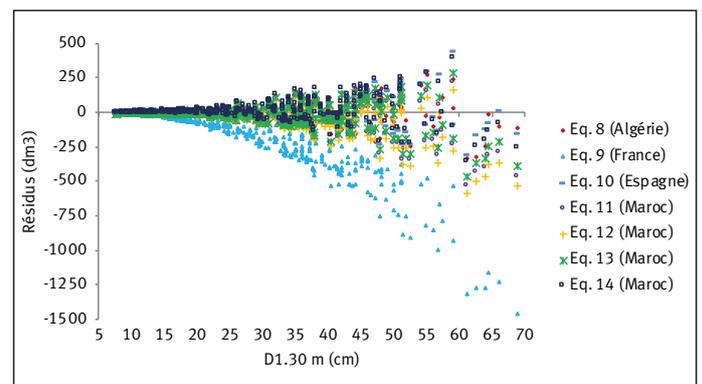
Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude locale du pin d'Alep dans la région des Ouled-Yaâgoub en Algérie ont été comparés à ceux obtenus et disponibles pour la même espèce dans les pays voisins. Pour cela, un tarif à une entrée obtenu dans le cadre d'une importante étude de la croissance de la même espèce sur toute son aire de répartition en Tunisie (Sghaier *et al.*, 2008 ; Sghaier et Ammari, 2012), un tarif à deux entrées pour la France (Deleuze *et al.*, 2014) et un tarif à deux entrées pour l'Espagne (Montero *et al.*, 2001) ont été considérés. Pour le Maroc, nous avons

retenu cinq tarifs à une entrée et quatre à deux entrées cités par Alaoui *et al.* (2011). Pour cette comparaison, les différentes fonctions retenues ont été appliquées à nos données et trois critères de précision relatifs aux résidus, déjà décrits dans la section « Matériel et méthodes, ont été calculés. Il s'agit du biais, de la moyenne quadratique des résidus absolus et de la moyenne quadratique des résidus relatifs. Le tableau VII illustre les équations des différents tarifs ainsi que les résultats des analyses des résidus. La figure 9 présente les courbes simulées par les équations des tarifs à une entrée tandis que la figure 10 montre la distribution des résidus obtenus par l'application des tarifs à deux entrées.

Pour les tarifs à une entrée, il est à remarquer que les équations 4 et 7 sous-estiment le volume des arbres de la pinède étudiée tandis que les autres le surestiment

**Figure 9.**

Volumes observés des arbres cubés en Algérie en fonction du diamètre à 1,30 m et courbes simulées à l'aide des tarifs de cubage à une entrée établis pour le pin d'Alep de quelques pays méditerranéens.

**Figure 10.**

Projection des résidus en fonction du diamètre à 1,30 m obtenus par les tarifs à deux entrées.

Tableau VIII.

Statistiques descriptives des diamètres et des volumes des arbres échantillonnés en Tunisie et en Algérie pour l'élaboration des tarifs de cubage.

Pays	Taille de l'échantillon	Variable	Moyenne	Min	Max	CV%
Tunisie	345	Diamètre (cm)	14,87	7,64	30,56	29
		Hauteur (m)	7,99	2,80	15,10	27
		Volume (dm ³)	80,74	5,10	505,20	92
Algérie	340	Diamètre (cm)	29,08	7,40	68,90	46
		Hauteur (m)	11,52	4,90	18,69	29
		Volume (dm ³)	459,81	14,8	2 296,00	101

d : diamètre à hauteur de poitrine (diamètre à 1,30 m de hauteur).

(tableau VII et figure 9). Les tarifs les plus proches du nôtre (équation 6 et équation 7), bornant le nuage de points de nos volumes observés (figure 9), sont les deux tarifs marocains établis pour les reboisements d'Achemech (Plateau central) à la limite supérieure du nuage et les peuplements naturels de Zerkten et Amezmez (Haut Atlas) à sa limite inférieure. Les écarts les plus élevés ont été observés pour le tarif tunisien (équation 1) suivi par celui du Maroc (équation 5) établi pour les reboisements du subhumide de Tétouan (Rif).

Quant aux tarifs à deux entrées, le tableau VII montre que, à l'exception du tarif français (équation 9) qui surestime le volume des arbres avec un biais systématique proportionnel au diamètre à 1,30 m de hauteur, tous les tarifs estiment bien les volumes des arbres de faible diamètre à moyen. Il est à noter que pour tous les tarifs retenus pour cette comparaison, y compris celui établi dans cette étude, les volumes sont surestimés à partir de 60 cm de diamètre (figure 10). Cependant, le tarif établi en Espagne (équation 10) s'avère le plus proche de notre tarif avec de légères surestimations. Pour les tarifs marocains, le tableau VII montre que les équations 11, 12 et 13 engendrent des biais négatifs tandis que l'équation 14 engendre un biais positif.

mètre (d) et le volume des arbres. En effet, les arbres échantillons de la forêt des Ouled-Yaâgoub en Algérie présentent des valeurs moyennes et maximales qui dépassent celles de la Tunisie d'environ deux fois pour le diamètre et cinq fois pour le volume (tableau VIII et figure 11b).

La figure 11 présente le volume des arbres cubés en Tunisie et en Algérie en fonction de leur diamètre à 1,30 m de hauteur (figure 11b) et les deux courbes de cubage à une entrée correspondantes pour des arbres de 7 à 40 cm de diamètre (figure 11a). Cette figure illustre, d'une part, l'écart important observé entre les dimensions des arbres cubés dans les deux pays et, d'autre part, celui entre les courbes de cubage pour les arbres de gros diamètre (de plus de 25 cm de diamètre). Il ressort de cette figure également que les deux nuages de points des deux échantillons, correspondant au volume en fonction du diamètre, sont confondus jusqu'au diamètre de 25 cm environ et qu'au-delà de cette dimension les arbres de la pinède tunisienne possèdent des volumes plus importants par comparaison à ceux des Ouled-Yaâgoub pour des diamètres similaires.

Finalement, en comparant les deux courbes de cubage à une entrée (figure 11a), nous constatons qu'elles donnent presque les mêmes estimations pour des arbres de diamètres de 8 à environ 20 cm.

Discussion

Comme le montrent les valeurs des différents critères de comparaison des différentes fonctions étudiées (tableaux IV et V), les tarifs à deux entrées faisant intervenir deux variables indépendantes ou explicatives (h et d) dans l'équation de cubage sont plus précis que ceux à une entrée avec une seule variable indépendante (d). Cela peut être expliqué par la variabilité des hauteurs pour la même catégorie de diamètre et donc la diversité des milieux de croissance des arbres échantillons.

Les erreurs commises par les deux tarifs de cubage retenus (F1 et F9) en fonction des classes de diamètre, exprimées par les écarts moyens absolus relatifs présentés en figure 4 (F1) et figure 7 (F9), montrent que les deux courbes suivent presque la même tendance et que les écarts

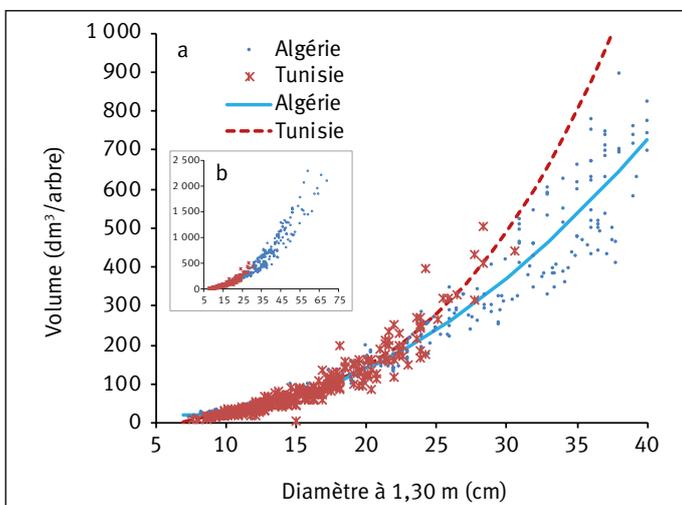


Figure 11.

Courbes simulées à l'aide des tarifs de cubage à une entrée (a) et volumes observés des arbres cubés en Tunisie et en Algérie en fonction du diamètre à 1,30 m de hauteur (b).

observés sont plus importants dans la partie médiane que pour les extrémités des courbes. Il est à constater que le maximum d'erreurs absolues commises par le tarif à une entrée est de l'ordre de 17 % pour la classe de diamètre de 40 cm, tandis que celui du tarif à deux entrées est de l'ordre de 11 % pour la classe de diamètre de 30 cm et que le maximum d'écart de précision entre les deux tarifs, qui est de l'ordre de 8 % environ, est observé pour la classe de diamètre de 40 cm.

D'une manière générale, la différence observée dans les volumes estimés par les tarifs établis pour le pin d'Alep des pays voisins peut être due à la nature de l'échantillonnage et aux différences des stades sylvicoles des peuplements ayant servi à la construction des différents tarifs. La surestimation importante du volume par certains tarifs peut être aussi expliquée par la fertilité des stations qui donnent, pour des diamètres similaires, des arbres plus élancés et hauts que ceux des Ouled-Yaâgoub.

Pour le cas spécifique du tarif tunisien, les écarts dans la dimension des arbres échantillonnés en faveur de la pinède des Ouled-Yaâgoub par rapport au tarif tunisien peuvent être expliqués par :

- la nature des échantillons, les 345 arbres échantillonnés en Tunisie provenant des placettes de mesures où l'arbre de surface terrière moyenne de chaque placette a été coupé et cubé, tandis que ceux échantillonnés en Algérie proviennent des coupes d'exploitation finales entreprises dans la pinède des Ouled-Yaâgoub où les 340 arbres sont représentatifs des différentes classes de diamètre et de hauteur ;
- les conditions pédoclimatiques dans lesquelles se trouvent les peuplements de pin d'Alep étudiés en Tunisie et en Algérie ; la pinède tunisienne s'étend depuis le bioclimat aride supérieur jusqu'à l'humide (Sghaier et Ammari, 2012), tandis que la majeure partie de la pinède des Ouled-Yaâgoub en Algérie présente une orientation Nord et Nord-Ouest et se situe dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver froid (Bentouati, 2006), favorisant ainsi des conditions optimales de croissance de l'espèce.

La différence de volume des arbres entre l'échantillon utilisé dans cette étude et celui ayant servi pour la construction du tarif tunisien pour la tranche de diamètre de 25 jusqu'à environ 30 cm peut être expliquée par le fait que, dans cette tranche de diamètre, les arbres de la pinède tunisienne sont plus âgés, moins hauts (fertilité plus faible) mais avec plus de grosses branches (> 7 cm de diamètre), tandis que les arbres de la pinède des Ouled-Yaâgoub sont plus jeunes, avec moins de grosses branches, mais plus hauts (fertilité plus importante).

Conclusion

Les deux tarifs de cubage élaborés dans le cadre de ce travail et qui sont basés sur la régression pondérée constituent des outils très utiles pour l'estimation du volume sur pied des arbres de pin d'Alep dans le massif des Ouled-Yaâgoub en Algérie. Avec un coefficient de variation de l'ordre de 15 %, le tarif à deux entrées s'est avéré plus précis que celui à une entrée qui présente un coefficient de variation de l'ordre de 24 %. Ainsi, l'utilisation de l'un ou

l'autre de ces deux tarifs pour l'estimation du volume bois fort des arbres de pin d'Alep dépendra du degré de précision souhaité des estimations à faire. Le tarif à une entrée, qui est plus rapide à matérialiser, peut être utilisé par exemple lors des interventions sylvicoles telles que les éclaircies, pour des questions de logistique. Le tarif de cubage à deux entrées, qui est plus précis, peut être utilisé par exemple lors des coupes finales dont le bois sera destiné à la vente, où des précisions plus importantes sur les volumes produits sont nécessaires.

Les différences dans l'estimation des volumes de la pinède des Ouled-Yaâgoub en Algérie par rapport à ceux des pinèdes d'autres pays méditerranéens peuvent s'expliquer essentiellement par la nature de l'échantillonnage utilisé et aussi par les conditions de croissance qui ne sont pas identiques dans les différentes stations.

Il faut signaler enfin que l'utilisation d'une équation unique n'est pas toujours adaptée à la diversité des peuplements, car celle-ci ne tient pas compte de toutes les formes et dimensions des arbres qui peuvent engendrer des imprécisions au niveau du volume. Ainsi, l'intégration dans l'échantillon des informations sur la distribution et la forme des arbres à cuber et/ou la fertilité des stations ne peut qu'améliorer la précision des estimations, offrant ainsi aux gestionnaires forestiers des outils simples et efficaces pour l'évaluation des potentialités de production des stations forestières.

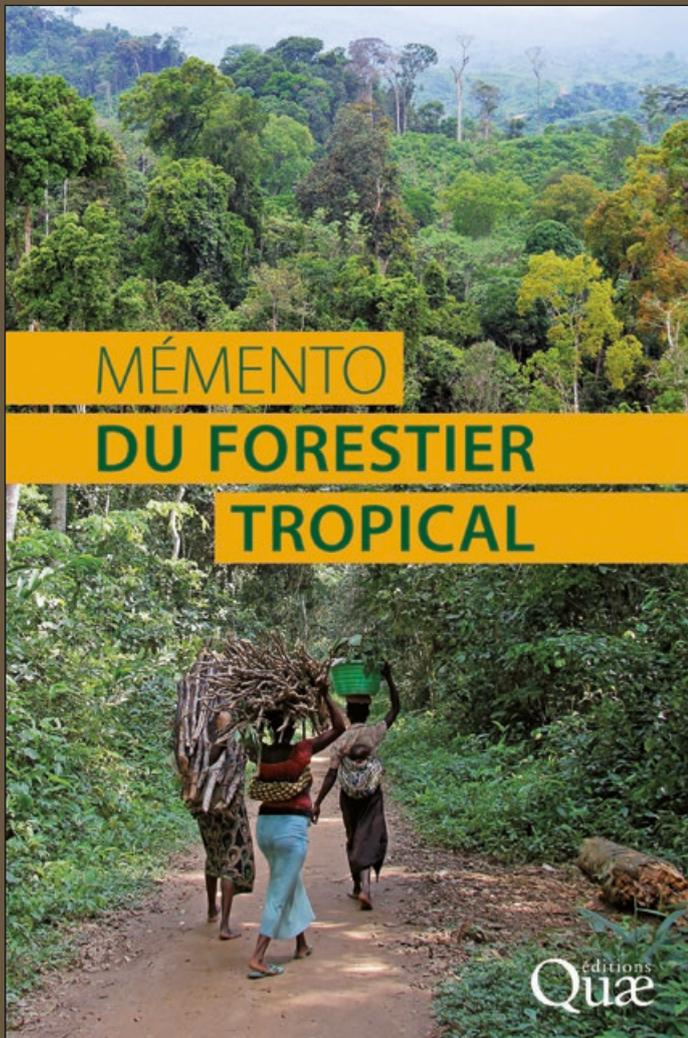
Références bibliographiques

- Alaoui A., Laariby S., Gmira N., 2011. Production, croissance et modèles de conduite sylvicoles des principales essences (le pin maritime et le pin d'Alep) de reboisement au Maroc. Université de Kastamonu, Journal of Forestry Faculty, 11 (1) : 68-84. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/159639>
- Bentouati A., Oudjehih B., Alatou D., 2005. Croissance en hauteur dominante et classes de fertilité du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans le massif de Ouled-Yakoub et des Benioudjana (Khenchela-Aurès). Sciences & Technologies. C. Sciences de la Nature et de la Vie, 23 : 57-62. <http://revue.umc.edu.dz/index.php/c/article/view/1379>
- Bentouati A., 2006. Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans le massif de Ouled-Yakoub (Khenchela-Aurès). Thèse de doctorat, Université El Hadj Lakhdar-Batna, Faculté des sciences, Département d'agronomie, Algérie, 116 p. <http://www.secheresse.info/spip.php?article12870>
- Cunia T., 1964. Weighted least squares method and construction of volume tables. Forest Science, 10: 180-191. <https://www.researchgate.net/publication/233692828-Weighted-Least-Squares-Method-and-Construction-of-Volume-Tables>

- Dagnelie P., 2011. Statistique théorique et appliquée. Tome 2. Inférence statistique à une et à deux dimensions. Bruxelles, Belgique, De Boeck, 736 p.
- Deleuze C., Morneau F., Renaud J.-P., Vivien Y., Rivoire M., Santenoise P., *et al.*, 2014. Estimer le volume total d'un arbre, quelles que soient l'essence, la taille, la sylviculture, la station. Rendez-vous Techniques ONF, 22-32. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01143797>
- De Smith M. J., 2015. Statistical analysis handbook: A comprehensive handbook of statistical concepts, techniques and software tools. FreeTechBooks. <http://www.statsref.com/HTML/index.html>
- Draper N. R., Smith H., 1966. Applied regression analysis. New York, USA, John Wiley, 407 p.
- Furnival G. M., 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. Forest Science, 7 (4): 337-341. <https://doi.org/10.1093/forestscience/7.4.337>
- Gerrard D. J., 1966. The construction of standard tree volume tables by weighted multiple regression. University of Toronto, Faculty of Forestry, Department of Lands and Forests, Research Report 61, 35 p.
- Looney S. W., Gullledge T. R., 1985. Use of the Correlation Coefficient with Normal Probability Plots. The American Statistician, 39 (1): 75-79. <https://www.jstor.org/stable/2683917>
- Montero G., Cañellas I., Ruíz-Peinado R., 2001. Growth and Yield Models for *Pinus halepensis* Mill. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, 10 (1): 179-201. <http://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/720>
- Palm R., 1976. Comparaison de méthodes de cubage d'arbres abattus. Revue Forestière Française, 1 : 48-54. <http://hdl.handle.net/2042/21034>
- Palm R., 1981. Calcul et choix des équations de cubage d'arbres. Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux, 16 (4) : 351-370.
- Palm R., 1988. Les critères de validation des équations de régression linéaire. Notes de Statistique et d'Informatique, 1, 27 p. <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/113726/1/88-1-CritValidEqR%C3%A9gLin.pdf>
- Palm R., 1994. La régression linéaire pondérée : principes et application. Notes de Statistique et d'Informatique, 4, 20 p. <http://hdl.handle.net/2268/112626>
- Patrício M. S., Monteiro M. L., Tomé M., 2005. Biomass Equations for *Castanea sativa* High Forest in the Northwest of Portugal. Acta Horticulturae, 693: 727-732. https://www.actahort.org/books/693/693_98.htm
- Ryan T. A., Joiner B. L., 1976. Normal probability plots and tests for normality. Pennsylvania State University, USA, 12 p. https://www.minitab.com/uploadedFiles/Content/News/Published_Articles/normal_probability_plots.pdf
- Rondeux J., 1993. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Gembloux, Presses agronomiques de Gembloux, 521 p.
- Sánchez-González M., Tomé M., Montero G., 2005. Modeling height and diameter growth of dominant cork oak trees in Spain. Annals of Forest Science, 62: 633-643. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00883925/document>
- Sánchez-González M., Canellas I., Montero González G., 2007. Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, 16: 76-88. [http://www.inia.es/gcontrec/Pub/076-088-\(5706\)-Generalized_1175075895515.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/Pub/076-088-(5706)-Generalized_1175075895515.pdf)
- SAS Institute Inc, 2004. SAS/STAT 9-1 User's Guide. Cary, NC, USA, SAS Institute Inc, 5 136 p. https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_91/statug_7313.pdf
- Sghaier T., Ammari Y., Garchi S., 2008. Étude et choix d'équations de cubage d'arbres pour le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Tunisie. Revue de l'INAT, 23 (2) : 199-225. https://www.researchgate.net/publication/259286015_ETUDE_ET_CHOIX_D'EQUATIONS_DE_CUBAGE_D'ARBRES_POUR_LE_PIN_D'ALEP_Pinus_halepensis_Mill_EN_TUNISIE
- Sghaier T., Ammari Y., 2012. Croissance et production du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Tunisie. Ecologia Mediterranea, 38 (1) : 39-57. https://www.researchgate.net/publication/259284590_Croissance_et_production_du_pin_d'Alep_Pinus_halepensis_Mill_en_Tunisie_-_Growth_and_production_of_Aleppo_pine_Pinus_halepensis_Mill_in_Tunisia
- Sghaier T., Garchi S., Ammari Y., 2013. Tables de cubage pour les plantations du pin pignon (*Pinus pinea*) du Nord-Ouest de la Tunisie. Annales de la Recherche Forestière au Maroc, 42 : 157-170. https://www.researchgate.net/profile/Tahar_Sghaier/publication/275031477_Tables_de_cubage_pour_les_plantations_du_pin_pignon_Pinus_pinea_du_Nord-Ouest_de_la_Tunisie/links/55f52a-de08ae1d980394d0e0/Tables-de-cubage-pour-les-plantations-du-pin-pignon-Pinus-pinea-du-Nord-Ouest-de-la-Tunisie.pdf
- Theil H., 1971. Principles of econometrics. New York, USA, Wiley, 736 p.
- Thill A., Palm R., 1979. Étude dendrométrique des chênes indigènes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* (Mttuschka) Lieblein). Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux, 14 (3-4) : 267-284.

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad

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



MILLE G. (COORD.), LOUPPE D. (COORD.), 2015.

MÉMENTO DU FORESTIER TROPICAL

ÉDITIONS QUÆ, OUVRAGE COLLECTIF CIRAD, 1200 P.

Après un état des lieux des écosystèmes forestiers tropicaux et de l'environnement institutionnel, ce Mémento aborde les questions et les concepts incontournables pour s'orienter vers une gestion durable des forêts, face aux menaces actuelles et futures. Il détaille l'ensemble des principes, méthodes, outils et préconise de bonnes pratiques de gestion forestière.

La forêt tropicale est un sujet majeur des grands débats planétaires, au cœur des questions de développement durable pour des enjeux écologiques, autant qu'économiques et sociaux. Ses impacts sont multiples tant sur les équilibres climatiques et biologiques que sur le bien-être des populations, à l'échelle locale et mondiale.

Cet ouvrage fournit aux décideurs, aux praticiens et à tous les acteurs de la filière un ensemble de savoirs et de savoir-faire pour gérer durablement les forêts tropicales.

L'ouvrage comporte une clé USB comprenant la version électronique enrichie d'informations détaillées, d'une bibliographie complète et de plus de 1 000 illustrations en couleur.

PARTIE 1 LES BASES DE LA GESTION DES ESPACES ARBORÉS TROPICAUX

Les forêts tropicales dans le monde
Un concept mondialisé
Évolution des concepts et des stratégies
La forêt et ses produits dans l'économie mondiale

PARTIE 2 LES MODALITÉS ET LES OUTILS DE LA GESTION

Connaissance du terrain
Outils
Aménagements : itinéraires techniques
Les plantations forestières et l'agroforesterie
Recherches et formations

PARTIE 3 PRODUITS, USAGES ET REPRÉSENTATIONS DE LA FORÊT

Utilisation des bois tropicaux
Les produits forestiers non ligneux
Représentations de la forêt. Biens immatériels

PARTIE 4 LA COMMUNICATION ET LA RÉDACTION DE PROJETS

Communiquer sur ses activités et monter des projets

Adapté du résumé de l'éditeur.
ISBN : 978-2-7592-2340-4

Connaissances et usages de *Cola millenii* K. Schum. (Malvaceae) en zones guinéenne et soudano-guinéenne au Bénin

Iboukoun Fidèle LAWIN^{1,2}
Towanou HOUËTCHÉGNON²
Adandé Belarmain FANDOHAN^{1,3,4}
Valère Kolawolé SALAKO⁴
Achille Ephrem ASSOGBADJO²
Christine Adjokè OUINSAVI¹

¹ Université de Parakou
Faculté d'agronomie
Laboratoire d'études et de recherches
forestières (LERF)
BP 123, Parakou
Bénin

² Université d'Abomey-Calavi
Faculté des sciences agronomiques
Laboratoire d'écologie appliquée (LEA)
01 BP 526, Cotonou
Bénin

³ Université nationale d'agriculture
École de foresterie et ingénierie du bois
Unité de recherche en foresterie,
agroforesterie et biogéographie
BP 43, Kétou
Bénin

⁴ Université d'Abomey-Calavi
Faculté des sciences agronomiques
Laboratoire de biomathématiques
et d'estimations forestières (LABEF)
04 BP 1525, Cotonou
Bénin

**Auteur correspondant /
Corresponding author:**
Iboukoun Fidèle Lawin
ifilawin@yahoo.fr



Photo 1.
Individu adulte de *Cola millenii* : feuilles digitées et fruits.
Photo I. F. Lawin.

Doi : 10.19182/bft2019.339.a31716 – Droit d'auteur © 2018, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 21 mars 2018 ;
date d'acceptation : 3 septembre 2018 ; date de publication : 30 janvier 2019.



Licence Creative Commons :
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.
Attribution-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-ND 4.0)

Citer l'article / To cite the article

Lawin I. F., Houëtchégnon T., Fandohan A. B., Salako V. K., Assogbadjo A. E., Ouinsavi C. A., 2019. Connaissances et usages de *Cola millenii* K. Schum. (Malvaceae) en zones guinéenne et soudano-guinéenne au Bénin. Bois et Forêts des Tropiques, 339 : 61-74. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2019.339.a31716>

RÉSUMÉ

Connaissances et usages de *Cola millenii* K. Schum. (Malvaceae) en zones guinéenne et soudano-guinéenne au Bénin

Bien que plusieurs fruitiers sauvages ont été étudiés au Bénin, d'autres, dont *Cola millenii* K. Schum., y demeurent peu documentés. Cette étude avait pour objectif d'inventorier les connaissances ethnobotaniques de *C. millenii* par les groupes socioculturels béninois. Des entretiens individuels structurés ont été menés auprès de 1 009 personnes. La fréquence relative de citation et l'indice d'efficacité ont été utilisés pour apprécier respectivement l'importance relative de chaque utilisation et le niveau d'efficacité de la plante dans le traitement d'une maladie donnée. *C. millenii* relève de huit catégories d'usage. L'usage alimentaire de la pulpe du fruit est le plus pratiqué. Le paludisme est la maladie la plus citée. Globalement, l'espèce serait très efficace dans le traitement du paludisme, de l'ictère, des maux de ventre, de l'hypertension, des courbatures, de la fatigue, de la fièvre et du vertige ; moyennement efficace dans le traitement de l'asthme, des troubles liés à la grossesse et de l'enflure des pieds ; mais peu efficace contre l'oligospermie. La feuille est la partie la plus utilisée et la décoction est le mode de préparation le plus employé dans le traitement des maladies. Les Anii et Chabè préfèrent l'usage alimentaire de l'espèce tandis que son usage à des fins magiques et comme brosse végétale ou bois de service est privilégié par les Adja et Kotafon. Par contre, les Aïzo l'utilisent plus à des fins médicinales, et son usage comme bois d'œuvre est plus important pour les Mahi. Les feuilles et les fruits sont les parties les plus commercialisées. Malgré son importance, l'espèce subit diverses pressions et bénéficie très peu de mesures de conservation. Des recherches futures devraient se pencher sur sa sylviculture pour assurer sa domestication.

Mots-clés : *Cola millenii*, ethnobotanique, fruitiers sauvages, groupes socioculturels, Afrique de l'Ouest.

ABSTRACT

Knowledge and uses of *Cola millenii* K. Schum. (Malvaceae) in the Guinean and Sudano-Guinean zones of Benin

Although a number of wild fruit trees in Benin have been studied, others, such as *Cola millenii* K. Schum., are still relatively undocumented. The aim of this study was to collect ethnobotanical knowledge on *C. millenii* among socio-cultural groups in Benin. Individual structured interviews were conducted with 1 009 people. Relative frequency of citation and the efficiency index were used to assess the relative importance of each use and the degree of effectiveness of the plant in treating given ailments. *C. millenii* falls into eight different use categories. Most frequently cited is use of the fruit pulp for food, and malaria is the most frequently cited ailment. Overall, the species is considered to be very effective against malaria, jaundice, stomach pains, high blood pressure, stiff joints, fatigue, fever and vertigo; fairly effective against asthma, pregnancy-related disorders and swollen feet; and not effective to treat a low sperm count. The leaves are most frequently used to treat ailments, mainly as decoctions. The Anii and Chabè use the species preferentially for food, while the Adja and Kotafon mainly use it for magical purposes, to make brushes and as construction wood. It is used most frequently for medicinal purposes by the Aïzo, while the Mahi consider it to be most useful for construction. Trade is mainly in the leaves and fruit. Despite its importance, the species is under pressure in various ways and inadequately protected. Future studies need to focus on silvicultural techniques with a view to domesticating the species.

Keywords: *Cola millenii*, ethnobotany, wild fruit trees, socio-cultural groups, West Africa.

RESUMEN

Conocimiento y usos de *Cola millenii* K. Schum. (Malvaceae) en las zonas guineana y sudanoguineana en Benín

Aunque se hayan estudiado varios frutales silvestres en Benín, otros, entre los cuales *Cola millenii* K. Schum., todavía están poco documentados. Este estudio tenía como objetivo inventariar los conocimientos etnobotánicos de *C. millenii* que tienen los grupos socioculturales benineses. Se llevaron a cabo entrevistas individuales estructuradas a 1 009 personas. La frecuencia relativa de citación y el índice de eficacia se utilizaron para apreciar respectivamente la importancia relativa de cada utilización y el nivel de eficacia de la planta en el tratamiento de una enfermedad determinada. *C. millenii* tiene ocho categorías de uso. El uso alimenticio de la pulpa del fruto es el más practicado. El paludismo es la enfermedad más citada. Globalmente, la especie sería muy eficaz en el tratamiento de paludismo, ictericia, dolores de barriga, hipertensión, agujetas, cansancio, fiebre y vértigos; medianamente eficaz en el tratamiento de asma, trastornos relacionados con el embarazo e hinchazón de los pies; pero poco eficaz contra la oligospermia. La hoja es la parte más utilizada y la decocción es la forma de preparación más empleada en el tratamiento de las enfermedades. Los Anii y Chabè prefieren el uso alimenticio de la especie mientras que su uso con fines mágicos y como cepillo vegetal o madera de servicio es preferente para los Adja y Kotafon. En cambio, los Aïzo lo utilizan más con fines medicinales, y su uso como madera de obra es más importante para los Mahi. Las hojas y los frutos son las partes más comercializadas. A pesar de su importancia, la especie sufre diferentes presiones y dispone a penas de medidas de conservación. Las futuras investigaciones deberían inclinarse hacia su silvicultura para asegurar su domesticación.

Palabras clave: *Cola millenii*, etnobotánica, frutales silvestres, grupos socioculturales, África Occidental.

Introduction

Les communautés rurales africaines possèdent des connaissances traditionnelles sur la valeur et les propriétés de nombreuses espèces végétales (Mou-pela *et al.*, 2011). Les politiques de gestion des ressources forestières ne sauraient être durables que si elles intègrent les valeurs sociales, culturelles et économiques que les communautés locales leur associent. Dans ce sens, les études ethnobotaniques apparaissent comme une bonne approche pour comprendre, dans une région donnée, les utilisations ainsi que les perceptions socioculturelles des ressources forestières par les populations locales (Agbogidi, 2010). Les connaissances endogènes, composante essentielle de la conservation de la biodiversité (Pilgrim *et al.*, 2007), importent aussi bien dans l'amélioration de la vie quotidienne des populations que dans la prise de décision pour la gestion des ressources (Campos et Ehringhaus, 2003). Les études ethnobotaniques permettent de recenser les utilisations locales des espèces végétales. Ces connaissances viennent à la base de toutes approches visant à proposer des solutions efficaces face aux menaces exercées sur ces espèces au niveau des communautés locales (Akpavi *et al.*, 2011).

L'explosion démographique menace de disparition des reliques forestières, avec les espèces résiduelles qu'elles abritent, fournisseuses de produits forestiers non ligneux. Il apparaît donc urgent de documenter la connaissance des communautés rurales à l'égard de ces espèces, et d'envisager leur sauvegarde (Djaha et Gnahoua, 2014). Au nombre des fruitiers sauvages, figure *Cola millenii* K. Schum, utilisé en médecine traditionnelle et dans l'alimentation au Nigeria (Odugbemi, 2006), en Côte d'Ivoire (Kouamé *et al.*, 2008) et au Togo (Denou *et al.*, 2016). Au Bénin, en plus de son utilisation médicinale (Akoègninou *et al.*, 2006 ; Adomou *et al.*, 2012) et alimentaire (Assogbadjo *et al.*, 2012), l'espèce est utilisée comme bois énergie et bois d'œuvre (Dossou *et al.*, 2012). Ces études, centrées sur l'importance socioculturelle ou la valeur d'usage de cette espèce, renseignent peu la diversité effective des usages pourtant observée selon les groupes socioculturels (Case *et al.*, 2005 ; Atakpama *et al.* 2012 ; Franco *et al.*, 2014 ; Assogba *et al.*, 2017). C'est dans la perspective de valoriser et d'utiliser durablement l'espèce que cette étude a été initiée et visait à inventorier les connaissances ethnobotaniques de *C. millenii* par les groupes socioculturels du Bénin.

Matériel et méthodes

Milieu d'étude

L'étude s'est déroulée au sein de l'aire de répartition de *C. millenii* au Bénin, soit sept districts phytogéographiques correspondant aux zones guinéenne et soudano-guinéenne. Il s'agit des quatre districts phytogéographiques (Côtier, Pobè, Vallée de l'Ouémé, Plateau) de la zone guinéenne et des trois districts phytogéographiques (Zou, Bassila, Borgou sud) de la zone soudano-guinéenne (figure 1).

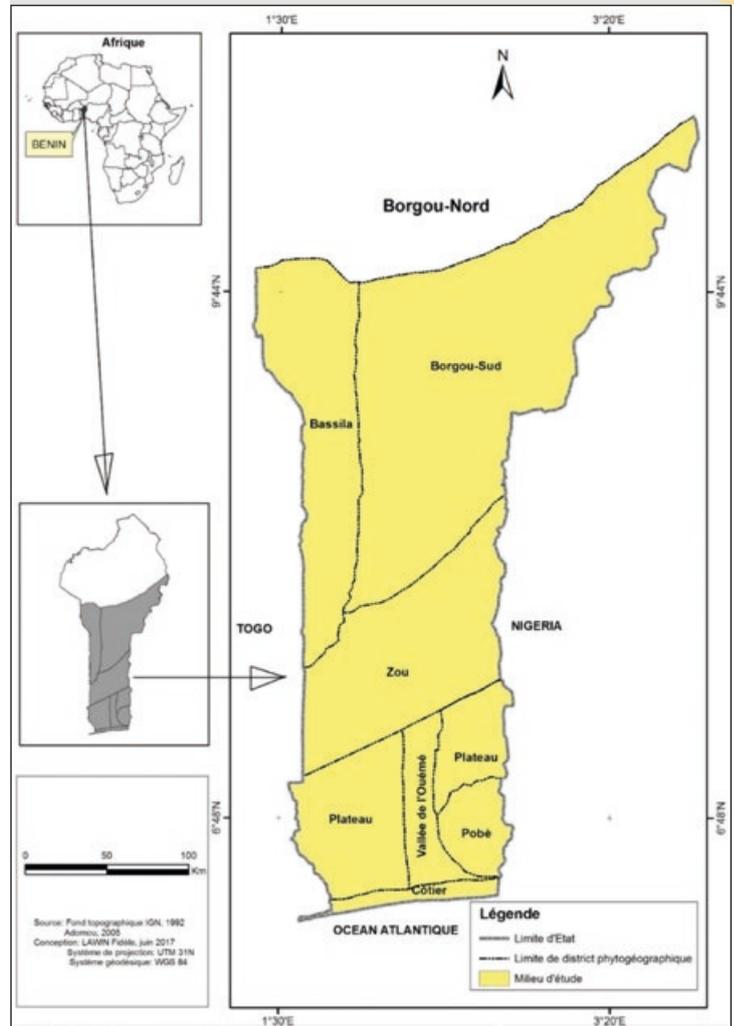


Figure 1.
Positionnement géographique du milieu d'étude.

Dans la zone guinéenne, le régime pluviométrique est bimodal, avec une pluviométrie annuelle de 900 à 1 300 mm. L'humidité relative varie entre 69 % et 97 % et la température annuelle moyenne entre 25 °C et 29 °C (Adomou, 2005). Les sols sont ferrallitiques, profonds et peu fertiles. La végétation primitive est constituée de forêts denses humides semi-décidues et de savanes guinéennes.

Dans la zone soudano-guinéenne, le régime pluviométrique est bimodal à unimodal, et la pluviométrie annuelle moyenne varie entre 1 100 et 1 200 mm. L'humidité relative varie de 31 % à 98 % et la température annuelle de 25 °C à 29 °C (Adomou, 2005). Les sols sont ferrugineux à fertilité variable. La végétation est caractérisée par une mosaïque de forêts claires, de savanes arborées et arbustives, de forêts denses sèches et de forêts-galeries.

Plusieurs groupes socioculturels sont rencontrés dans le milieu d'étude, parmi lesquels les Adja, Sahouè, Kotafon, Fon, Mahi, Aizo, Wémè, Nagot, Holli, Idaasha, Chabè et Anii.

Tableau I.
Taille de l'échantillon selon les groupes
socioculturels et le genre.

Groupes socioculturels	Nombre		Total
	Hommes	Femmes	
Adja	28	23	51
Aïzo	66	70	136
Anii	83	61	144
Chabè	97	29	126
Fon	64	51	115
Holli	62	34	96
Idaasha	72	32	104
Kotafon	24	30	54
Mahi	49	10	59
Nagot	31	31	62
Sahouè	12	11	23
Wémè	19	20	39
Total	607	402	1 009

Choix des villages d'enquête et échantillonnage

Dans chaque district phytogéographique, les villages à proximité des formations végétales abritant *C. millenii* ont été retenus. Dans chaque village, une enquête exploratoire a été effectuée auprès de 30 personnes choisies aléatoirement. Elle a permis de déterminer la proportion (P) des répondants ayant connaissance d'au moins une utilisation de l'espèce. Cette proportion variait de 0,6 à 0,96. L'effectif n de la population à enquêter a alors été déterminé par la formule de Dagnélie (1998) :

$$n = \frac{U_{1-\alpha/2}^2 \times P(1-P)}{d^2}$$

où n est la taille de l'échantillon ; P est la proportion de personnes ayant connaissance d'au moins une utilisation de l'espèce lors du sondage ; $U_{1-\alpha/2} = 1,96$ en tant que valeur de la variable aléatoire normale pour une valeur de probabilité de $\alpha = 0,05$; d est la marge d'erreur fixée à 8 %.

La taille de l'échantillon par village variait de 23 à 144, pour un total de 1 009 personnes (tableau I) relevant de 12 groupes socioculturels (tableau I) répartis dans 20 villages.

Enquêtes ethnobotaniques

Chaque personne enquêtée a été soumise à une interview structurée basée sur un questionnaire. Les données collectées concernaient les usages et catégories d'usage de l'espèce, son nom et sa signification en langue locale, les parties commercialisées, ainsi que les menaces et stratégies de conservation de l'espèce.

Traitement des données

Au sein de la diversité des usages médicinaux renseignés, le choix des parties de l'espèce et leur mode de préparation dans la médecine traditionnelle ont été précisés. La fréquence relative de citation (FRC) et l'indice d'efficacité (IF) ont été utilisés pour apprécier respectivement l'importance relative de chaque utilisation et le niveau d'efficacité de la plante dans le traitement d'une maladie donnée (tableau II).

Dans le but de déterminer la distribution des connaissances dans la population, les personnes interrogées ont été regroupées selon leur appartenance socioculturelle. Six sous-groupes ont été constitués selon l'âge et le genre (tableau III) : les jeunes ont moins de 30 ans, les adultes entre

Tableau II.
Indices ethnobotaniques.

Indices	Formule	Interprétation	Références
Fréquence relative de citation (FRC)	$FRC = \frac{n}{N} \times 100$ <p>n : nombre de personnes ayant fourni une réponse par rapport à une utilisation donnée ; N : nombre total de personnes enquêtées</p>	Importance relative de chaque utilisation	Tardio et Pardo-De-Santayana (2008)
Indice d'efficacité (IF)	$IF = \frac{Ns}{Nt}$ <p>Ns : nombre de personnes ayant obtenu satisfaction après usage d'une partie de <i>C. millenii</i> dans le traitement d'une maladie ; Nt : nombre total de personnes ayant utilisé une partie de la plante pour le traitement de la maladie</p>	<p>Niveau d'efficacité d'une plante dans le traitement d'une maladie donnée.</p> <p>On considère que la plante :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ n'est pas efficace si $IF < 0,25$ ▪ est peu efficace si $0,25 \leq IF < 0,5$ ▪ est moyennement efficace si $0,5 \leq IF < 0,75$ ▪ est très efficace si $0,75 \leq IF \leq 1$ 	Présente étude

Tableau III.

Répartition des enquêtés en fonction des classes d'âge et du genre.

Genre	Âge		
	Jeunes	Adultes	Personnes âgées
Hommes	52	305	250
Femmes	42	202	158

30 et 59 ans, et les personnes âgées ont au moins 60 ans (Assogbadjo *et al.*, 2008). Les tableaux de contingence renseignant le nombre de personnes enquêtées utilisant chaque partie de la plante par groupe socioculturel, et par classe d'âge et genre ont été établis. Les usages déclarés par les groupes socioculturels ont été regroupés en catégories d'usage et ont également fait l'objet d'établissement d'un tableau de contingence sur la base du nombre d'utilisateurs par groupe socioculturel. Une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été réalisée sur chacun de ces tableaux avec le logiciel R version 3.4.1 afin de décrire non seulement la relation entre les groupes socioculturels et les catégories d'usage mais aussi la relation entre les groupes socioculturels et les parties utilisées, d'une part, et celle entre les classes d'âge et de genre et les parties utilisées, d'autre part.

Résultats

Noms vernaculaires et signification

Au total, 17 noms vernaculaires ont été recensés (tableau IV). Ils varient d'un groupe socioculturel à un autre, et parfois d'un village à un autre au sein d'un même groupe socioculturel. L'attribution du nom à la plante repose sur ses traits morphologiques (photo 1) ou sur un événement historique. C'est le cas par exemple du nom *Ola N'gor*, signifiant « grâce à cola » en chabè, en allusion à un événement historique dans la vie de cette communauté : un chasseur affamé en forêt aperçoit *C. millenii* et, après avoir consommé la pulpe, rend grâce à l'espèce pour avoir assouvi sa faim.

Catégories d'usage

Cola millenii relève de huit catégories d'usage (tableau V). L'usage alimentaire de la pulpe est le plus fréquent (FRC = 96,9 %), suivi de l'usage médicinal (FRC = 66,6 %) et du bois énergie (FRC = 58,6 %).

Utilisations médicinales

Maladies et symptômes traités

C. millenii contribue au traitement de 60 maladies et symptômes (tableau VI). Son utilisation dans le traitement du paludisme est la plus connue de la population (53,9 %). L'espèce est dite très efficace dans le traitement

Tableau IV.Noms vernaculaires de *Cola millenii* et signification.

Groupes socioculturels	Noms vernaculaires vernaculaires	Significations	Villages
Anii	Abatankouyabou, Abatankouporo	-	Baka baka (Bassila)
Chabè	Ola N'gor	Grâce à cola	Koda (Tchaourou)
Kotafon	Pafoli	-	Gbédji (Houéyogbé)
Fon	Alovi aton	Cinq doigts	Niaouli 1 (Allada)
	Zinkokoé, Zinwokokoé	Banane du singe	Attakpacodji (Ouidah)
	Kèklègba	-	Niaouli 1
Aïzo	Alovi aton	Cinq doigts	Lokoli (Zogbodomè)
Wémè	Alovi aton	Cinq doigts	Ayou (Allada)
Idaasha	Bototo	-	Tovoh (Bonou)
Mahi	Katanangba, Lègba-kèkè	-	Modji-gangan, (Dassa)
Nagot	Kaka N'gba	-	Adakplamè (Kétou)
Holli	Kakara N'gba	-	Ahoyéyé (Pobè)
Adja	Lovi aton, Gbambo	Cinq doigts	Issaba (Pobè)
		-	Yéhouémey (Aplahoué)
Sahouè	Didonvè	-	Zoungbonou (Houéyogbé)
	Gbankpo	-	Sè (Houéyogbé)

Tableau V.
Catégories d'usage de *Cola millenii*.

Catégories d'usage	Parties utilisées	Observations	FRC (%)
Médicinale	Feuille, écorce, racine, graine, pulpe et fruit	Traitement des maladies	66,6
Alimentaire	Pulpe	Consommée crue	96,9
Brosse végétale	Racine	Utilisée comme cure-dents	2,0
Emballage	Feuille	Utilisée pour emballer l'akassa	0,7
Magique	Feuille	Feuille attachée + incantation pour arrêter un voleur	0,4
	Feuille	Feuilles de <i>C. millenii</i> + autres feuilles gardées sur soi pour attirer la chance	
	Feuille	Feuille en décoction + autres plantes utilisées en bain corporel une fois par an pour se prémunir des mauvais esprits	
Bois de service	Branche	Gaules, pieux	1,4
Bois énergie	Tronc, branche	Bois de feu et charbon de bois	58,6
Bois d'œuvre	Tronc	Bois de charpente, fabrication de tabourets	1,5

Tableau VI.
Remèdes médicinaux à base de *Cola millenii*.

Catégories d'affections	Maladies et symptômes	Partie utilisée	Mode de préparation	Mode d'administration	Groupes socioculturels	Villages	FRC (%)	IF
Hématologique	Anémie	Feuille	Décoction	Boisson	Holli, Idaasha	Issaba, Modji-gangan	0,20	0,50
Endocrinienne	Diabète	Feuille	Décoction	Boisson	Aïzo, Idaasha	Niaouli 1, Kpingni	0,20	0,50
Génétique	Drépanocytose	Racine	Décoction	Bain corporel	Aïzo	Ayou	0,20	0,50
Traumatiques	Hernie	Fruit	Poudre	Boisson	Fon, Holli	Attakpacodji, Issaba	0,34	0,33
		Graine et racine	Macération	Boisson				
	Hémorroïde	Écorce	Macération	Boisson	Adja, Aïzo, Fon, Holli	Yéhouémey, Ayou, Attakpacodji, Issaba	0,40	0,62
	Entorse	Feuille	Décoction	Application locale	Chabè	Koda	0,10	-
	Plaie	Écorce	Poudre	Application locale	Chabè, Fon	Koda, Attakpacodji	0,20	0,50
	Abcès	Feuille	Décoction	Boisson	Kotafon	Gbédji	0,30	0,33
Gynécologiques	Reflux de sperme	Écorce	Macération	Boisson	Fon	Niaouli 1	0,20	0,50
	Avortement précoce	Écorce	Macération	Boisson	Aïzo	Niaouli 1	0,10	-
	Oligospermie	Écorce ou racine	Macération	Boisson	Aïzo, Fon, Idaasha, Wémè	Ayou, Niaouli 1, Modji-gangan, Tovoh	5,08	0,25
	Saignements chez la femme enceinte	Feuille	Trituration	Boisson	Aïzo, Fon	Ayou, Niaouli 1	0,20	-
	Stérilité féminine ou masculine	Graine	Poudre	Mélange alimentaire	Adja, Aïzo, Fon, Wémè, Mahi, Sahouè	Yéhouémey, Ayou, attakpacodji, Tovoh, Kpingni, Zoungbonou	0,59	0,25
	Ménopause précoce	Écorce et feuille	Décoction	Bain corporel	Idaasha	Modji-gangan	0,20	-
	Règles douloureuses	Feuille	Décoction	Boisson	Chabè, Wémè	Koda, Tovoh	1,00	-
		Racine	Décoction	Boisson				
	Règles irrégulières	Racine	Décoction	Boisson	Idaasha, Nagot	Modji-gangan, Ahoyéyé	0,20	-

Tableau VI (suite).

Catégories d'affections	Maladies et symptômes	Partie utilisée	Mode de préparation	Mode d'administration	Groupes socioculturels	Villages	FRC (%)	IF	
Gynécologiques	Troubles liés à la grossesse	Feuille	Décoction	Boisson	Adja, Aizo, Fon, Kotafon	Yéhouémey, Kpotomey, Dohouignantomè, Niaouli 1, Gbédji	6,55	0,52	
Digestives	Constipation	Feuille	Décoction	Boisson	Aizo, Idaasha	Niaouli 1, Modji-gangan	0,49	0,50	
	Perte d'appétit	Feuille	Décoction	Boisson	Kotafon	Gbédji	0,68	0,65	
		Racine	-	Comme cure-dents					
	Vomissements	Feuille	Décoction	Boisson	Aizo, Fon	Ayou, Attakpacodji	0,20	-	
	Diarrhée	Feuille	Décoction	Boisson	Aizo, Fon	Ayou, Attakpacodji	0,20	-	
	Dysenterie	Feuille	Décoction	Boisson	Aizo, Chabè	Ayou, Koda	0,20	0,50	
		Écorce	Poudre	Mélange alimentaire					
	Maux de ventre	Graine	Macération	Boisson	Adja, Chabè, Fon, Kotafon, Wémè	Yéhouémey, Koda, Attakpacodji, Gbédji, Tovoh	6,33	0,86	
		Écorce fraîche	Macération	Boisson					
		Racine	Macération	Boisson					
Infection buccale (plaie dans la bouche)	Pulpe	-	Succion	Wémè	Tovoh	0,20	-		
Mauvaise haleine	Racine	-	Comme cure-dents	Sahouè	Zoungbonou	0,20	-		
Ulcère	Feuille	Décoction	Boisson	Adja, Aizo, Fon, Holli, Wémè, Mahi, Sahouè	Yéhouémey, Ayou, Attakpacodji, Niaouli 1, Issaba, Tovoh, Adakplamè, Zoungbonou	0,79	0,57		
	Racine	Macération	Boisson						
	Écorce	Macération	Boisson						
Infection abdominale	Feuille	Décoction	Boisson	Fon	Attakpacodji	0,30	-		
Nausée	Feuille	Décoction	Boisson	Adja	Yéhouémey	0,20	-		
Dermatologiques	Gale	Écorce	Macération	Bain corporel	Idaasha	Modji-gangan	0,20	-	
	Teigne	Écorce	Décoction	Bain corporel	Chabè	Koda	0,20	-	
	Syphilis	Feuille	Trituration	Boisson	Aizo, Fon, Idassha	Ayou, Dohouignantomè, Modji-gangan	0,30	-	
	Variole	Feuille	Décoction	Bain corporel	Chabè	Koda	0,20	-	
	Rougeole	Feuille	Trituration	Bain corporel	Chabè	Koda	0,30	-	
Psychologiques	Éjaculation précoce	Racine	Macération	Boisson	Idaasha	Modji-gangan	0,20	-	
Cardiologiques	Hypertension	Feuille ou écorce	Décoction	Boisson	Adja, Fon, Holli, Kotafon, Sahouè	Yéhouémey, Attakpacodji, Ayou, Dohouignantomè, Lokoli, Niaouli 1, Issaba, Gbédji, Zoungbonou	6,21	0,86	
	Hypotension	Feuille	Décoction	Boisson	Holli	Issaba	0,20	-	
Stomatologiques	Carie dentaire	Pulpe	-	Application locale	Adja, Aizo, Fon, Kotafon, Mahi, Sahouè	Yéhouémey, Ayou, Niaouli 1, Attakpacodji, Gbédji, Kpingni, Zoungbonou	1,5	0,62	
		Racine	-	Comme cure-dents					
Neurologiques	Maux de tête	Écorce	Macération	Bain de la tête	Aizo, Fon, Kotafon	Ayou, Attakpacodji, Gbédji	0,20	0,50	
	Crise convulsive	Feuille	Décoction	Bain par vapeur	Aizo, Holli, Kotafon	Ayou, Niaouli 1, Issaba, Gbédji	0,56	0,40	
			Boisson						
	Écorce	Décoction	Bain corporel						
	Épilepsie	Racine	Poudre	Lapement	Mahi	Adakplamè	0,20	-	
Paralysie	Racine	Décoction	Bain corporel	Mahi	Adakplamè, Kpingni	0,60	0,40		
Pédiatriques	Non-solidité du corps chez le nouveau-né	Racine	Décoction	Bain corporel	Sahouè	Zoungbonou	0,20	-	
	Marasme	Feuille	Décoction	Boisson	Chabè	Koda	0,10	-	

Tableau VI (suite).

Catégories d'affections	Maladies et symptômes	Partie utilisée	Mode de préparation	Mode d'administration	Groupes socioculturels	Villages	FRC (%)	IF
Pédiatriques	Dentition difficile chez l'enfant	Pulpe	Macération	Boisson	Holli, Sahouè	Issaba, Zoungbonou	0,20	-
	Retard de l'enfant à marcher	Feuille	Décoction	Bain corporel	Holli	Issaba	0,10	-
Autres	Fièvre	Ecorce ou feuille	Décoction	Boisson	Adja, Aïzo, Fon, Holli, Idaasha, Kotafon, Sahouè	Yéhouémey, Attakpacodji, Ayou, Lokoli, Niaouli 1, Issaba, Modji-gangan, Gbédji, Zoungbonou	5,54	0,78
	Vertige	Feuille	Décoction	Boisson	Aïzo, Chabè, Fon, Idaasha	Ayou, Koda, Attakpacodji, Dohouignantomè, Modji-gangan	5,20	0,80
		Écorce	Décoction	Bain corporel				
	Courbatures	Feuille	Décoction	Boisson	Adja, Aïzo, Chabè, Fon, Kotafon, Idaasha, Sahouè	Yéhouémey, Ayou, Koda, Attakpacodji, Niaouli 1, Gbédji, Modji-gangan, Zoungbonou	5,99	0,78
	Fatigue	Feuille	Décoction	Boisson	Adja, Kotafon, wémè	Yéhouémey, Gbédji, Tovoh	5,87	0,87
	Toux	Feuille	Décoction	Boisson	Aïzo, Chabè, Fon, Idaasha	Ayou, Koda, Attakpacodji, Modji-gangan	0,40	0,50
	Enflure des pieds	Écorce	Poudre	Application locale	Adja, Chabè, Fon, Kotafon, Mahi, Sahouè	Yéhouémey, Koda, Attakpacodji, Ayou, Dohouignantomè, Lokoli, Niaouli 1, Gbédji, Kpingni, Modji-gangan, Zoungbonou	5,65	0,60
		Feuille	Décoction	Boisson				
	Rhume	Feuille	Décoction	Boisson	Chabè	Koda	0,20	-
	Asthme	Feuille	Brûlage	Inhalation	Adja, Fon, Kotafon	Attakpacodji, Yéhouémey, Dohouignantomè, Gbédji	6,55	0,66
	Angine	Feuille	Décoction	Boisson	Fon	Attakpacodji, Niaouli 1	0,20	-
		Racine	Macération	Lavage de gorge				
	Enflure du corps	Feuille	Décoction	Bain corporel	Adja, Idaasha	Attakpacodji, Modji-gangan	0,20	-
	Douleur lombaire	Racine	Décoction	Boisson	Kotafon, Wémè	Gbédji Tovoh,	0,20	0,50
	Faiblesse sexuelle	Écorce	Macération	Boisson	Wémè	Tovoh	0,20	-
Paludisme	Feuille verte (ou feuille jaune tombée par terre)	Décoction	Boisson	Adja, Aïzo, Chabè, Fon, Holli, Idaasha, Kotafon, Nago, Wémè, Mahi, Sahouè	Yéhouémey, Kpotomey, Lanzron, Zinvié, Koda, Attakpacodji, Ayou, Dohouignantomè, Lokoli, Niaouli 1, Issaba, Gbédji, Ahoyéyé, Hounmè Tovoh, Adakplamè, Kpingni, Modji-gangan, Zoungbonou	53,90	1	
Talon fendillé	Écorce	Décoction	Application locale	Mahi	Adakplamè, Kpingni	0,20	-	
Ictère	Feuille	Décoction	Boisson	Aïzo, Chabè, Fon, Idaasha, Mahi, Sahouè	Kpotomey, Lanzron, Niaouli 1, Zinvié, Koda, Attakpacodji, Ayou, Dohouignantomè, Lokoli, Kpingni, Modji-gangan, Adakplamè, Zoungbonou	7,91	0,89	
	Racine	Décoction	Boisson					

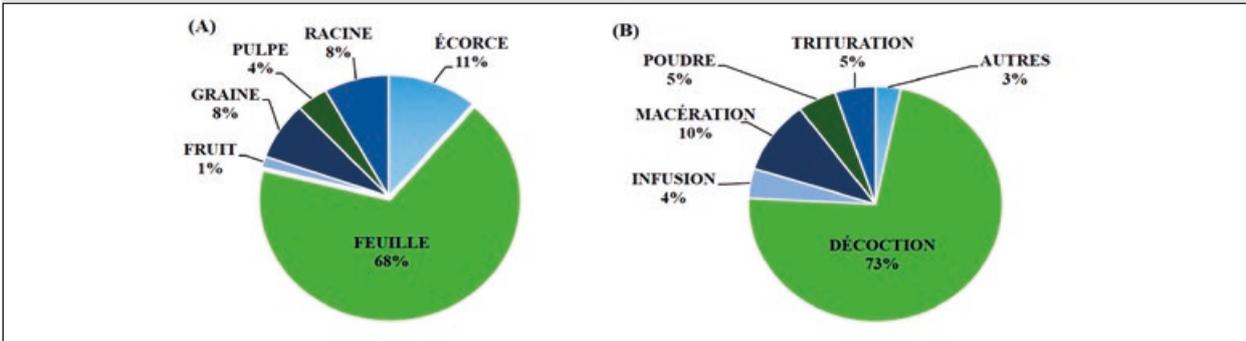


Figure 2.
 Parties de *Cola millenii* utilisées (A) ; modes de préparation des remèdes (B).

de multiples affections : paludisme, ictère, maux de ventre, hypertension, courbatures, fatigue, fièvre et vertige, mais moyennement efficace dans le traitement de l’asthme, des troubles liés à la grossesse et à l’enflure des pieds, et peu efficace contre l’oligospermie.

Pour renforcer l’efficacité des remèdes mentionnés, d’autres plantes ou minéraux sont parfois associés.

Parties utilisées et modes de préparation

Les feuilles, les fruits, les graines, les écorces, les racines et la pulpe sont les parties de *C. millenii* utilisées. La feuille est la plus utilisée (68 %) et la décoction est le mode de préparation le plus employé (73 %) (figure 2).

Relation entre groupes socioculturels et catégories d’usage

Les deux premiers facteurs de l’AFC regroupent 60,7 % de la variance totale. Toutefois, le troisième facteur a également été retenu pour décrire les relations, les trois premiers facteurs de cette AFC totalisant 76,6 % de la variabilité initiale. L’analyse des contributions ainsi que de la qualité de la représentation des groupes socioculturels et des catégories d’usage de *C. millenii* sur chaque axe du plan factoriel

principal indique que les groupes socioculturels Anii, Chabè, Adja et Kotafon présentent une bonne contribution et une bonne qualité de représentation sur l’axe factoriel 1, alors que les Aizo et les Mahi révélaient respectivement de bonnes contributions et qualités de représentation sur les axes factoriels 2 et 3. Les catégories d’usage alimentaire et magique et, dans une certaine mesure, la valorisation sous forme de brosse végétale et de bois de service contribuent fortement à la formation de l’axe 1 et y sont bien représentées, alors que les catégories relatives à l’usage médicinal et au bois d’œuvre présentent respectivement de bonnes contributions et qualités de représentation sur les axes factoriels 2 et 3. Les correspondances issues de la projection des différentes catégories d’usage et des groupes socioculturels dans les systèmes d’axes de l’AFC (figure 3) montrent que les Anii et Chabè préfèrent l’usage alimentaire de l’espèce, tandis que son usage à des fins magiques et comme brosse végétale (cure-dents) et bois de service est privilégié par les Adja et Kotafon. Par contre, les Aizo l’utilisent plutôt à des fins médicinales et son usage comme bois d’œuvre est plus spécifique des Mahi. Les autres groupes socioculturels, non encerclés sur la figure 3, ne sont pas associés à une catégorie d’usage particulière.

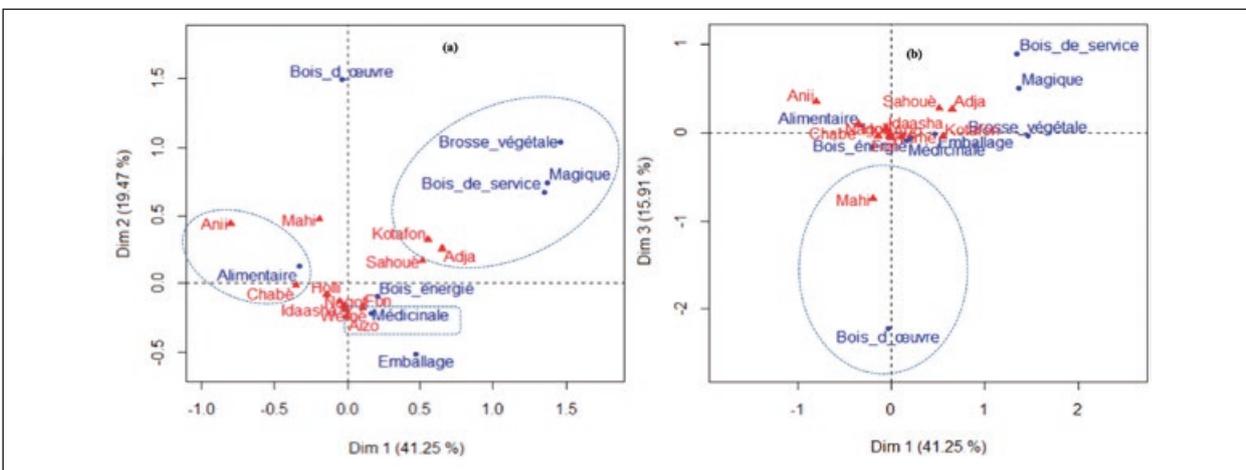


Figure 3.
 Projection des catégories d’usage de *Cola millenii* et des groupes socioculturels sur les plans factoriels (a) 1 et 2 et (b) 1 et 3.

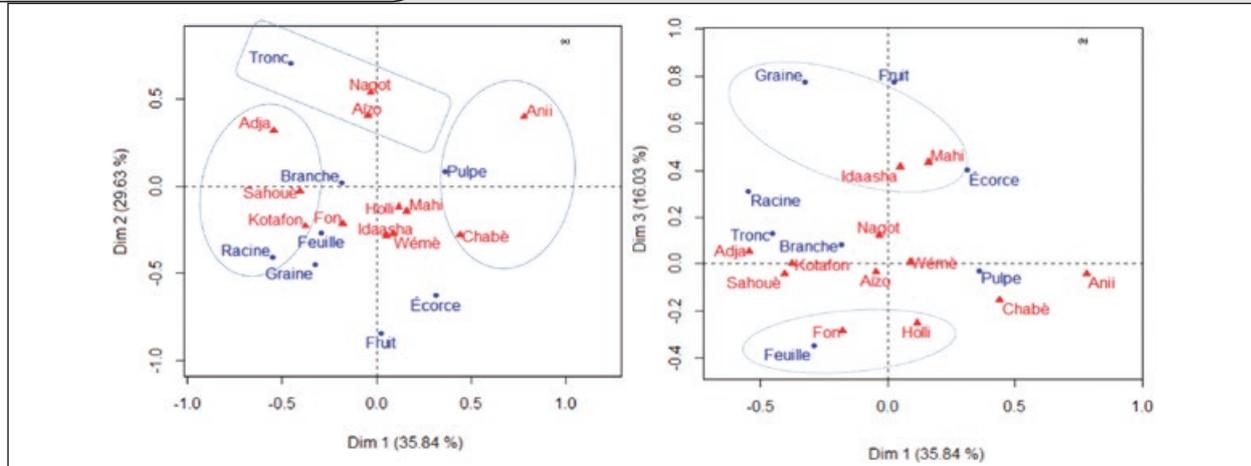


Figure 4. Projection des parties utilisées de *Cola millenii* et des groupes socioculturels sur les plans factoriels principaux (a) 1 et 2 et (b) 1 et 3.

Relation entre groupes socioculturels et parties utilisées

Les résultats de l'analyse indiquent que 65,5 % de la variabilité est portée par les deux premiers axes factoriels. Néanmoins, dans le but de faire ressortir davantage les liens entre les groupes socioculturels et les parties utilisées, le troisième axe factoriel a été aussi pris en compte, et totalise avec les deux premiers axes 81,5 % de la variabilité initiale. L'analyse des contributions ainsi que de la qualité de représentation des groupes socioculturels et parties de *C. millenii* utilisées sur chaque axe factoriel indique que les groupes socioculturels Adja, Anii, Chabè, Kotsafon et Sahouè avaient une bonne contribution et une bonne qualité de représentation sur l'axe factoriel 1 alors que les Aizo et Nagot, d'une part, et les Fon, Holli, Idaasha et Mahi, d'autre part, avaient une bonne contribution et une bonne qualité de représentation sur l'axe factoriel 2 et l'axe factoriel 3, respectivement. S'agissant des parties utilisées, la pulpe et la racine présentaient une bonne contribution et une bonne qualité de représentation sur

l'axe 1, alors que le tronc et les écorces, d'une part, et la graine et la feuille, d'autre part, avaient une bonne contribution et une bonne qualité de représentation sur l'axe 2 et l'axe 3, respectivement. Les correspondances issues de la projection des différentes parties utilisées et des groupes socioculturels dans les systèmes d'axes de l'AFC (figure 4) montrent que les Adja, Kotsafon et Sahouè accordent plus d'importance à la racine alors que les Anii et Chabè se reportent davantage sur l'utilisation de la pulpe. Les Aizo et Nagot s'intéressent plus à l'utilisation du tronc. Les Fon et Holli privilégient l'usage des feuilles tandis que les Idaasha et Mahi privilégient l'utilisation de la graine. Les autres groupes socioculturels ne sont pas associés à l'utilisation particulière d'une partie de la plante.

Relation entre âge-genre et parties utilisées

Les résultats de l'AFC, dont les deux premiers facteurs regroupent 90,7 % des informations, indiquent que les femmes, jeunes, adultes ou vieilles, préfèrent l'utilisation du tronc et de la branche par rapport aux autres sous-groupes (figure 5). Ces usages s'opposent à celui des écorces chez les hommes adultes. Quant aux jeunes hommes, ils utilisent plutôt la pulpe. Les autres connaissances sur l'utilisation des parties de *C. millenii* ne discriminent pas les classes d'âge et le genre parce qu'elles ne sont pas significativement exprimées sur les axes factoriels.

Commercialisation

Dans la zone d'étude, *C. millenii* fait l'objet d'une commercialisation locale des feuilles et fruits, mais aussi des racines, écorces et graines (figure 6). Les feuilles et les fruits sont les plus commercialisés, respectivement dans les zones guinéenne et soudano-guinéenne.

Les fruits sont vendus à 5 FCFA l'unité ou 25 FCFA le tas de six fruits aux abords des voies (photo 2), dans les quartiers urbains, dans certaines écoles primaires et dans les marchés (photo 3), au sud et au centre du Bénin. Les clients sont surtout des enfants. Les feuilles sont commercialisées en bottes (photo 4) de 25 à 100 FCFA selon la taille de la

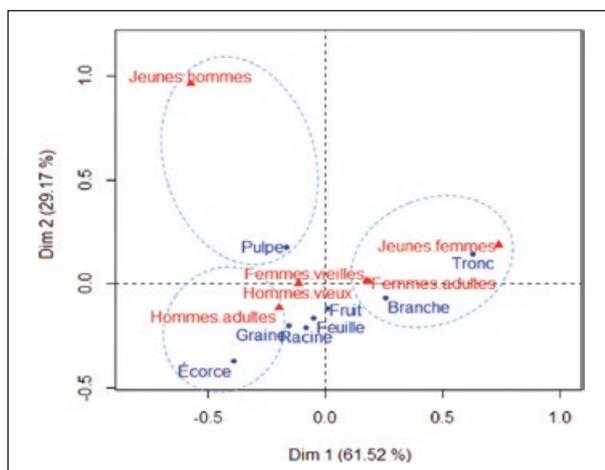


Figure 5. Projection des utilisations des parties de *Cola millenii* et des classes d'âge et de genre sur le plan factoriel principal de l'AFC.

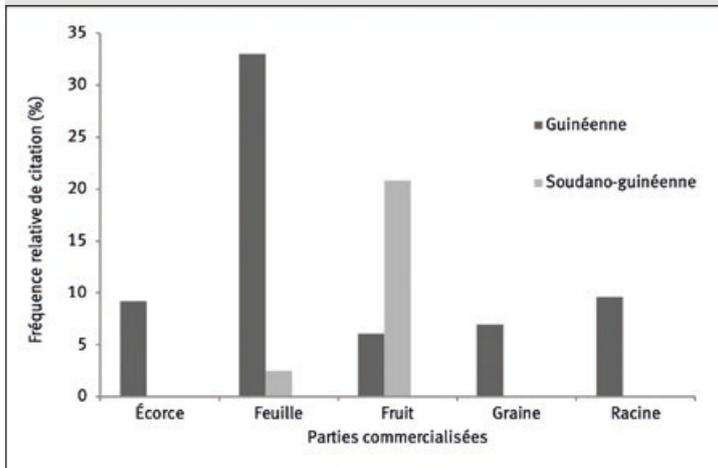


Figure 6. Parties de *Cola millenii* commercialisées dans les deux zones étudiées.

botte, dans plusieurs marchés au sud du Bénin, principalement à Abomey-Calavi et Dantokpa. Les graines, écorces et racines sont vendues en tas de 25 FCFA ou 50 FCFA, selon la grandeur du tas, dans certains marchés du Sud-Bénin, mais de manière occasionnelle.

Menaces et stratégies de conservation

C. millenii subit diverses pressions. La coupe pour le prélèvement de bois de chauffe, le défrichement de son habitat à des fins agricoles, les feux de végétation et l'urbanisation sont les principales menaces en jeu (figure 7).

Seule l'épargne des pieds au champ et dans les agglomérations a été identifiée comme stratégie de conservation, par seulement 3 % des personnes enquêtées.



Photo 2. Fruits de *Cola millenii* vendus au bord de la voie, à côté des mangues à Modji-gangan (Dassa).
Photo I. F. Lawin.

Discussion

Noms vernaculaires

Les noms varient d'un groupe socioculturel à l'autre, parfois d'un village à l'autre pour un même groupe socioculturel. L'attribution du nom à la plante repose non seulement sur ses traits morphologiques mais aussi sur un événement historique (Achigan-Dako *et al.*, 2010 ; Houèthégnon *et al.*, 2015 ; Assogba *et al.*, 2017). Cette connaissance suppose l'existence d'une longue histoire de l'utilisation de l'espèce par les communautés concernées (Houèthégnon *et al.*, 2015 ; Assogba *et al.*, 2017). Le nom vernaculaire aurait également un lien avec l'usage préférentiel de l'espèce pour chaque groupe socioculturel conformément aux travaux de Assogba *et al.* (2017). À titre d'exemple, les Chabè désignent *C. millenii* sous le nom *Ola N'gor* signifiant « grâce à cola », en relation avec l'importance de la consommation de la pulpe du fruit pour ce groupe socioculturel. L'espèce est également appelée *alovi aton* par les Fon, ce qui signifie « cinq doigts », en référence à la forme pentalobée de la feuille, partie la plus utilisée par ce groupe.

Diversité des usages

C. millenii relève de plusieurs catégories d'usage. L'usage alimentaire de la pulpe (FRC = 96,9 %) et des parties de l'espèce dans la médecine traditionnelle (FRC = 66,6 %) et comme bois énergie (FRC = 58,6 %) sont les plus pratiqués par les personnes enquêtées. Ceci traduit l'importance alimentaire et médicinale de l'espèce pour la population. Elle estime que le bois de *C. millenii* s'enflamme rapidement et ne dure pas dans les foyers, et est donc plutôt considéré comme de mauvaise qualité.

L'espèce est utilisée dans le traitement de 60 maladies et symptômes. Ce nombre est largement supérieur aux 15 maladies et symptômes rapportés dans la littérature



Photo 3. Fruits de *Cola millenii* vendus au marché de Dassa.
Photo I. F. Lawin.



Photo 4.
Feuilles de *Cola millenii* sur un étalage de plantes médicinales au marché de Dantokpa.
Photo I. F. Lawin.

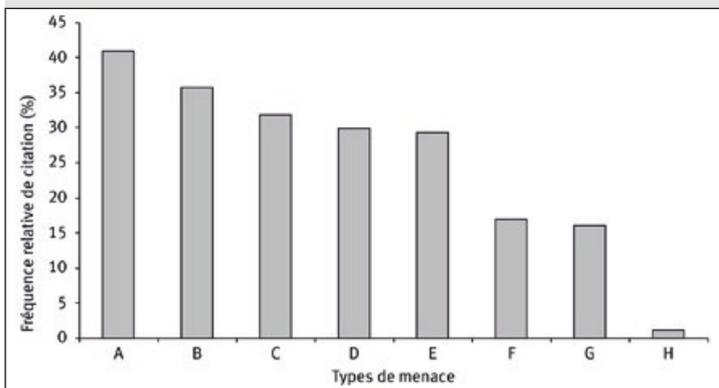


Figure 7.
Menaces pesant sur *Cola millenii* : A : coupe pour le prélèvement de bois de chauffe ; B : défrichage à des fins agricoles ; C : feux de végétation ; D : urbanisation ; E : prélèvement des parties de la plante à des fins médicinales ; F : piétinement des plantules et du sol par les bœufs ; G : fabrication de charbon de bois ; H : changement climatique.

(Akoègninou *et al.*, 2006 ; Odugbemi, 2006 ; Adomou *et al.*, 2012 ; Koudouvo *et al.*, 2016 ; Houmenou *et al.*, 2017). Ceci peut s'expliquer par la grande taille de l'échantillon et la diversité des groupes socioculturels considérés. Plusieurs affections recensées dans cette étude ont été déjà mentionnées par des études antérieures comme susceptibles d'être soignées par *C. millenii*, tels l'ictère et l'abcès (Akoègninou *et al.*, 2006), ou le paludisme (Adomou *et al.*, 2012 ; Koudouvo *et al.*, 2016). *C. millenii* est aussi une source de vitamine C pour contrer les infections (Olayiwola *et al.*, 2013). Plusieurs parties de l'arbre sont utilisées en médecine traditionnelle, dont principalement les feuilles. La décoction est le mode de préparation le plus employé. Ces résultats sont semblables à ceux de Denou *et al.*, (2016) et Koudouvo *et al.* (2016). La présence d'alcaloïdes, de tannins et de saponine

dans la feuille (Sonibare *et al.*, 2009) pourrait justifier son usage dans le traitement de plusieurs maladies. La décoction permet de recueillir au mieux les principes actifs et atténue ou annule l'effet toxique de certaines recettes médicinales (Salhi *et al.*, 2010).

La fréquence de citation élevée du paludisme (53,9 %) résulte de l'étendue de cette maladie et de l'efficacité thérapeutique de la décoction des feuilles de *C. millenii* (IF = 1).

Relation entre groupes socioculturels et catégories d'usage

Les usages de *C. millenii* sont dépendants des groupes socioculturels. Des observations similaires ont été faites par Sop *et al.* (2012) sur plusieurs plantes ligneuses au Burkina Faso. La diversité des utilisations peut être expliquée par les conditions environnementales locales qui gouvernent la distribution et la disponibilité de l'espèce (Sop *et al.*, 2012). Elle peut être également due aux besoins des populations locales (Houëtchégnon *et al.*, 2015 ; Assogba *et al.*, 2017).

Relation entre groupes socioculturels, âge-genre et parties utilisées

Les connaissances de l'utilisation des parties de *C. millenii* varient selon les groupes socioculturels comme l'ont par exemple rapporté les études de Wédjangnon *et al.* (2016) sur *Mansonia altissima*, de Assogba *et al.* (2017) sur *Bombax costatum* au Bénin, de Case *et al.* (2005) sur la flore locale en Papouasie-Nouvelle-Guinée, et de Franco *et al.* (2014) sur *Koompassia excelsa* en Malaisie. La variation des utilisations peut être expliquée non seulement par les différences culturelles mais aussi par la disponibilité locale d'autres espèces remplissant les mêmes fonctions (Houëtchégnon *et al.*, 2015).

Les connaissances de l'utilisation des parties de l'espèce varient également avec le genre et l'âge, conformément à Souto et Ticktin (2012), mais à l'encontre de De Caluwe *et al.* (2009) pour le baobab au Nord-Bénin. En effet, dans les ménages africains, ce sont généralement les femmes qui se chargent de l'approvisionnement en bois de feu pour la cuisson et le chauffage des aliments. Ceci pourrait expliquer le fait que les femmes préfèrent l'utilisation du tronc et des branches de *C. millenii*. La bonne connaissance des jeunes hommes sur l'utilisation de la pulpe viendrait du fait qu'ils en consomment souvent, surtout lorsqu'ils vont à la chasse. La connaissance particulière des hommes adultes sur l'utilisation de l'écorce pourrait résulter de leur forte implication dans la médecine traditionnelle.

Commercialisation

Au nombre des parties commercialisées, les feuilles et fruits se révèlent majoritaires. Ce résultat s'accorde avec ceux de Adomou *et al.* (2012), indiquant que la feuille de *C. millenii* est commercialisée dans le marché d'Abomey-Calavi au Bénin, mais aussi de Kokou *et al.* (2013), mentionnant la vente des feuilles sur la plupart des étalages de plantes médicinales dans les marchés de Lomé, au Togo.

La commercialisation des autres parties n'est pas rapportée dans la littérature. La prédominance des feuilles peut s'expliquer par le fait qu'elles sont utilisées dans le traitement de plusieurs maladies (Odugbemi, 2006 ; Koudouvo *et al.*, 2016 ; Houmenou *et al.*, 2017).

Menaces et stratégies endogènes de conservation

L'étude révèle que la coupe de bois de chauffe, le défrichement à des fins agricoles, les feux de végétation, l'urbanisation et le prélèvement de diverses parties de la plante sont les principales menaces à l'égard de *C. millenii*, conformément à de précédents travaux sur les fruitiers sauvages (Balemie et Kebebew, 2006 ; Gouwakinnou *et al.*, 2011 ; Fandohan *et al.*, 2017).

C. millenii est conservée par très peu de personnes dans les champs et les agglomérations, ce qui ne s'accompagne que d'une faible tentative de domestication. L'usage fréquent d'une plante, sans domestication, augmente sa vulnérabilité (Keirungi et Fabricius, 2005). Or, plus le nombre de catégories d'usage d'une plante est élevé, plus elle est sollicitée et donc menacée (Ayèna *et al.*, 2016). La maîtrise de la sylviculture de *C. millenii* est envisageable pour assurer sa domestication.

Conclusion

Cette étude montre que l'utilisation de *Cola millenii* est diversifiée : médicinale, alimentaire, magique, brosse végétale, emballage, bois de service, bois énergie et bois d'œuvre. Les usages de l'espèce varient en fonction des groupes socioculturels. L'espèce est essentiellement utilisée à des fins alimentaires dans les groupes socioculturels situés dans la zone soudano-guinéenne du Bénin (Anii, Chabè). Trois tendances ont été observées chez les peuples situés dans la zone guinéenne du pays. Les uns lui accordent un intérêt médicinal (Aïzo) ; d'autres l'utilisent davantage comme brosse végétale, bois de service et pour ses propriétés magiques (Adja, Kotafon) ; d'autres encore la valorisent plus comme bois d'œuvre (Mahi).

La prise en compte de ces spécificités pourrait contribuer à l'élaboration d'une stratégie de gestion durable de l'espèce. Les feuilles et les fruits sont les parties les plus commercialisées. Malgré son importance, l'espèce subit diverses pressions et bénéficie de très peu de mesures de conservation. Des recherches futures devraient se pencher sur sa sylviculture pour assurer sa domestication.

Remerciements

Nous remercions la Fondation internationale pour la science pour avoir soutenu I. F. Lawin par l'octroi du Grant n° D/5875-1. A. B. Fandohan a bénéficié d'un soutien de la Fondation Alexander von Humboldt (Return fellowship n° 3.4, RKS, BEN/1155509 et Equipment Subsidy n° 3.6, BEN/1155509). Nous remercions également les évaluateurs pour leurs commentaires et corrections qui ont permis d'améliorer la qualité de cet article.

Références bibliographiques

- Achigan-Dako E. G., Pasquini M. W., Assogba-Komlan F., N'danikou S., Yédomonhan H., Dansi A., Ambrose-Oji B., 2010. Traditional vegetables in Benin. Cotonou, Institut national des recherches agricoles du Bénin, Imprimeries du CENAP, 282 p.
- Adomou A. C., 2005. Vegetation pattern and environmental gradients in Benin: Implications for biogeography and conservation. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, Netherlands, 133 p.
- Adomou A. C., Yédomonhan H., Djossa B., Legba S. I., Oumorou M., Akoegninou A., 2012. Étude ethnobotanique des plantes médicinales vendues dans le marché d'Abomey-Calavi au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Science, 6 (2): 745-772. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i2.18>
- Agbogidi O. M., 2010. Ethno-botanical survey of the non-timber forest products in Sapele Local Government Area of Delta State, Nigeria. African Journal of Plant Science, 4 (3): 183-189. <http://www.academicjournals.org/ajps>
- Akoègninou A., Van der burg W. J., Van der Maesen L. J. G., Adjakidjè V., Essou J. P., Sinsin, B., *et al.*, 2006. Flore analytique du Bénin. Leiden, Pays-Bas, Backhuys Publishers, 1 034 p.
- Akpavi S., Woegan A. Y., Dourma M., Tozo K., Batawila K., Wala K., *et al.*, 2011. Que sont devenues les plantes autrefois consommées par les divers groupes ethnoculturels du Togo ? Agronomie Africaine, 23 (2) : 147-160. <https://www.ajol.info>
- Assogba G. A., Fandohan A. B., Salako V. K., Assogbadjo A. E., 2017. Usages de *Bombax costatum* (Malvaceae) dans les terroirs riverains de la Réserve de biosphère de la Pendjari, République du Bénin. Bois et Forêts des Tropiques, 333 : 17-29. <https://doi.org/10.19182/bft2017.333.a31465>
- Assogbadjo A. E., Glèlè Kakai R., Chadare F. J., Thomson L., Kyndt T., Sinsin B., *et al.*, 2008. Folk classification, perception and preferences of baobab products in West Africa: consequences for species conservation and improvement. Economic Botany, 62 (1): 74-84. <https://doi.org/10.1007/s12231-007-9003-6>
- Assogbadjo A. E., Glèlè Kakai R., Vodouhè F. G., Djagoun C. A. M. S., Codjia J. T. C., Sinsin B., 2012. Biodiversity and socio-economic factors supporting farmers' choice of wild edible trees in the agroforestry systems of Benin (West Africa). Forest Policy and Economics, 14: 41-49. <http://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.07.013>
- Atakpama W., Batawila K., Dourma M., Pereki H., Wala K. Dimobe K., Akpagana K., Gbeassor M., 2012. Ethnobotanical Knowledge of *Sterculia setigera* Del. in the Sudanian Zone of Togo (West Africa). International Scholarly Research Network, 2012: 1-8. <http://doi.org/10.5402/2012/723157>
- Ayèna A. C., Agassounon Djikpo Tchibozo M., Assogbadjo A. E., Agbangla C., Ahanhanzo C., 2016. Usages et vulnérabilité de *Pterocarpus santalinoides* L'her. ex de (Papilionoideae), une plante utilisée dans le traitement des gastro-entérites dans le Sud du Bénin. European Scientific Journal, 12 (6). <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n6p218>
- Balemie K., Kebebew F., 2006. Ethnobotanical study of wild edible plants in Derashe and Kucha Districts, South Ethiopia. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 2 (53): 1-9. <http://www.ethnobiomed.com/content/2/1/53>
- Campos M. T., Ehringhaus C., 2003. Plant virtues are in the eyes of the beholders: a comparison of known palm uses among indigenous and folk communities of south western Amazonia. Economic Botany, 57: 324-344. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2003\)057\[0324:PVAITE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2003)057[0324:PVAITE]2.0.CO;2)

- Case R. J., Pauli G. F., Soejarto D. D., 2005. Factors in Maintaining Indigenous Knowledge among Ethnic Communities of Manus Island. *Economic Botany*, 59: 356-365. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2005\)059\[0356:FIMIKAJ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2005)059[0356:FIMIKAJ]2.0.CO;2)
- Dagnélie P., 1998. Statistiques théoriques et appliquées. Bruxelles, Belgique, De Boeck, 517 p.
- De Caluwe E., De Smedt S., Assogbadjo A. E., Samson R., Sinsin B., Van Damme P., 2009. Ethnic differences in use value and use patterns of baobab (*Adansonia digitata* L.) in northern Benin. *African Journal of Ecology*, 47 (3): 433-440. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2008.01023.x>
- Denou A., Koudouvo K., Togola A., Aziati K. Y., Esseh K., Ajavon C. A., et al., 2016. Traditional knowledge on antimalarial plants having analgesic properties used in Togo Maritime Region. *The Journal of Ethnobiology and Traditional Medicine*, Photon, 126: 1160-1170. http://www.academia.edu/26038225/Traditional_knowledge_on_antimalarial_plants_having_analgesic_properties_used_in_Togo_Maritime_Region
- Djaha A. J. B., Gnahoua G. M., 2014. Contribution à l'inventaire et à la domestication des espèces alimentaires sauvages de Côte d'Ivoire: Cas des Départements d'Agboville et d'Oumé. *Journal of Applied Biosciences*, 78 : 6620-6629. <https://www.ajol.info/index.php/jab/article/view/105831>
- Dossou M. E., Houessou G. L., Lougbégnon O. T., Tenté A. H. B., Codjia J. T. C., 2012. Étude ethnobotanique des ressources forestières ligneuses de la forêt marécageuse d'Agonvè et terroirs connexes au Bénin. *Tropicultura*, 30 (1) : 41-48. https://www.researchgate.net/profile/Laurent_Houessou/publication/259558319
- Fandohan A. B., Chadare F. J., Gouwakinnou G. N., Tovissode C. F., Bonou A., Djonlonkou S. F. B., et al., 2017. Usages traditionnels et valeur économique de *Synsepalum dulcificum* au Sud-Bénin. *Bois et Forêts des Tropiques*, 332 (2) : 18-30. <https://doi.org/10.19182/bft2017.332.a31330>
- Franco F. M., Ghani B. A. A., Hidayati S., 2014. Biocultural importance of the Tanying [*Koompassia excelsa* (Becc.) Taub.] tree for the Berawan of Loagan Bunut, Sarawak, Malaysia. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 13: 63-69. <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/26028>
- Gouwakinnou G. N., Lykke A. M., Assogbadjo A. E., Sinsin B., 2011. Local knowledge, pattern and diversity of use of *Sclerocarya birrea*. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7 (8): 1-9. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-7-8>
- Houëtchégnon T., Gbémavo D. S. J. C., Ouinsavi C., Sokpon N., 2015. Ethnobotanical knowledge and traditional management of african mesquite (*Prosopis africana* Guill., Perrot. et Rich.) populations in Benin, West Africa. *The Journal of Ethnobiology and Traditional Medicine*, Photon, 125: 1124-1135. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/101373>
- Houmenou V., Adjatin A., Tossou M. G., Yedomonhan H., Dansi A., Gbenou J., et al., 2017. Étude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement de la stérilité féminine dans les départements de l'Ouémé et du plateau au Sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (4) : 1851-1871. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.34>
- Keirungi J., Fabricius C., 2005. Selecting medicinal plants for cultivation at Nqabara on the Eastern Cape Wild Coast, South Africa. *South African Journal of Sciences*, 101: 497-501. <https://hdl.handle.net/10520/EJC96329>
- Kokou K., Batawila K., Akpagana K., Tossou M. G., Akoegninou A., 2013. Impact écologique de la cueillette et commercialisation des plantes médicinales au Togo. www.glinus.com/2013/12/impact-ecologique-de-la-cueillette-et.html
- Kouamé N. M. T., Gnahoua G. M., Kouassi K. E., Traoré D., 2008. Plantes alimentaires spontanées de la région du Fromager (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) : flore, habitats et organes consommés, *Science et Nature*, 5 (1) : 61-70. <http://dx.doi.org/10.4314/scinat.v5i1.42152>
- Koudouvo K., Esseh K., Denou A., Aziati T., Ajavon C., Afanyibo Y.-G., et al., 2016. Étude ethnopharmacologique des recettes médicinales antipaludiques du Togo pour la formulation d'un phytomédicament de prise en charge du paludisme. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 79 : 54-70. http://www.sliire.net/download/2372/article_6_complet_brab_79_juin_2016_koudouvo_et_al_tude_ethno-pharmacologique.pdf
- Moupele C., Vermeulen C., Daïnou K., Doucet J.-L., 2011. Le noisetier d'Afrique (*Coula edulis* Baill.). Un produit forestier non ligneux méconnu. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 15 (3) : 485-495. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=7807>
- Oudgbemi T., 2006. Outlines and Pictures of Medicinal Plants from Nigeria. Vol. 10. University of Lagos Press, 158 p.
- Olayiwola I. O., Akinfenwa V. O., Oguntona C. O., Sanni S. A., Onabanjo O. O., Afolabi W. A. O., 2013. Phytonutrient, antioxidant and mineral composition of some wild fruits in South West Nigeria. *Nigeria Food Journal*, 31 (2): 33-40. [https://doi.org/10.1016/S0189-7241\(15\)30074-6](https://doi.org/10.1016/S0189-7241(15)30074-6)
- Pilgrim S., Smith D., Pretty J., 2007. A cross regional assessment of the factors affecting ecoliteracy. Implications for policy and practice. *Ecological Applications*, 17 (6): 1742-1751. <https://doi.org/10.1890/06-1358.1>
- Salhi S., Fadli M., Zidane L., Douira A., 2010. Études floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroa*, 31: 133-146. <http://www.ethnopharmacologia.org/prelude2018/pdf/biblio-s3-nord-salhi.pdf>
- Sonibare M. A., Soladoye M. O., Sonibare O. O., 2009. Phytochemical and antimicrobial studies of four species of *Cola* Schott & Endl. (Sterculiaceae). *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 6 (4): 518-525. <https://www.ajol.info/index.php/ajitcam/article/view/57182>
- Sop T. K., Oldeland J., Bognounou F., Schmiedel U., Thiombiano A., 2012. Ethnobotanical knowledge and valuation of woody plants species: a comparative analysis of three ethnic groups from the sub-Sahel of Burkina Faso. *Environment, Development and Sustainability*, 14: 627-649. <https://doi.org/10.1007/s10668-012-9345-9>
- Souto T., Ticktin T., 2012. Understanding interrelationships among predictors (age, gender, and origin) of local ecological knowledge. *Economic Botany*, 66 (2): 149-164. <https://doi.org/10.1007/s12231-012-9194-3>
- Tardio J., Pardo-De-Santayana M., 2008. Cultural importance indices: a comparative analysis based on the useful wild plants of southern Cantabria (northern Spain). *Economic Botany*, 62 (1): 24-39. <https://doi.org/10.1007/s12231-007-9004-5>
- Wédjangnon A. A., Houëtchégnon T., Ouinsavi C., 2016. Caractéristiques ethnobotaniques et importance socio-culturelle de *Mansonia altissima* A. Chev. au Bénin, Afrique de l'Ouest. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 29 (3) : 4678-4690. <http://www.m.ewelewa.org/IAPS>

Emmanuel KASONGO YAKUSU^{1,2,3}
Dominique LOUPPE^{4,5}
Franck MONTHE⁶
Olivier J. HARDY⁶
Félicien Bola MBELE LOKANDA⁷
Wannes HUBAU²
Jan VAN DEN BULCKE¹
Joris VAN ACKER¹
Hans BEECKMAN²
Nils BOURLAND^{2,8,9}

¹ Ghent University
Department of Environment
Laboratory of Wood Technology
UGent-Woodlab
Coupure Links 653
9000 Gand
Belgique

² Royal Museum for Central Africa
Service of Wood Biology
Leuvensesteenweg, 13
3080 Tervuren
Belgique

³ Université de Kisangani
Faculté de gestion des ressources
naturelles renouvelables
B.P. 2012
Avenue Kitima, 3
Kisangani
République démocratique du Congo

⁴ Cirad
Unité de recherche Forêts et Sociétés
Campus international de Baillarguet
34398 Montpellier cedex 5
France

⁵ Forêts et Sociétés
Univ Montpellier
Cirad
Montpellier
France

⁶ Université libre de Bruxelles
Faculté des sciences
Évolution biologique et écologie
CP 160/12
Avenue F. D. Roosevelt, 50
1050 Bruxelles
Belgique

⁷ Université de Kisangani
Faculté des sciences
B.P. 2012
Avenue Kitima, 3
Kisangani
République démocratique du Congo

⁸ Center for International Forestry Research
Situ Gede. Bogor Barat 16115
Indonesie

⁹ Research and Synergies Development
Pte Ltd. Hong Leong Building
Singapore 04858
République de Singapour

Auteur correspondant /
Corresponding author:
Emmanuel Kasongo Yakusu
Emmanuel.KasongoYakusu@UGent.be

Enjeux et amélioration de la gestion des espèces du genre *Entandrophragma*, arbres africains devenus vulnérables



Photo 1.
Grume de *Entandrophragma cylindricum* dans une usine de transformation
(Compagnie forestière de transformation) à Kisangani (RDC).
Photo N. Bourland.

Doi : 10.19182/bft2019.339.a31717 – Droit d'auteur © 2018, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 12 février 2018 ;
date d'acceptation : 30 octobre 2018 ; date de publication : 15 janvier 2019.



Licence Creative Commons :
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.
Attribution-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-ND 4.0)

Citer l'article / To cite the article

Kasongo Yakusu E., Louppe D., Monthe F. S., Hardy O. J., Mbele Lokanda F. B., Hubau W., Van Den Bulcke J., Van Acker J., Beeckman H., Bourland N., 2019. Enjeux et amélioration de la gestion des espèces du genre *Entandrophragma*, arbres africains devenus vulnérables. Bois et Forêts des Tropiques, 339 : 75-94. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2019.339.a31717>

RÉSUMÉ

Enjeux et amélioration de la gestion des espèces du genre *Entandrophragma*, arbres africains devenus vulnérables

Par la qualité de leur bois et leurs nombreux usages traditionnels, les espèces du genre *Entandrophragma* font l'objet d'une intense exploitation, susceptible de compromettre leur pérennité en l'absence de gestion durable. La présente étude dresse un état de la situation de cinq espèces commerciales principales de ce genre : *Entandrophragma angolense*, *E. congoense* (souvent assimilée par erreur à *E. angolense*), *E. candollei*, *E. cylindricum* et *E. utile*. Elle propose des pistes de recherche pour améliorer les stratégies de gestion durable au sein de ce genre. L'étude est principalement basée sur les données scientifiques (publications), économiques (statistiques de production et d'exportation) et juridiques (lois et réglementations), mais aussi sur les plans d'aménagement et les rapports d'inventaire. Les connaissances sur leur gestion sont encore fragmentaires alors qu'elles sont considérées comme vulnérables dans la liste rouge de l'UICN. La forte exploitation industrielle et artisanale de ces espèces ne s'effectue pas toujours dans le respect d'un plan d'aménagement validé, ni de la durée minimum des rotations qui permettraient l'un et l'autre un taux de reconstitution pérennisant cette ressource. Leur gestion durable exige notamment le développement et le respect de mesures d'aménagement pour rendre leur exploitation renouvelable à long terme. Cette exploitation doit s'appuyer sur une gestion adéquate des peuplements naturels et sur le reboisement ainsi que sur des mesures de conservation. Les recherches à développer doivent intéresser leur vitesse de croissance face aux évolutions climatiques, l'évaluation de leurs stocks (production, biomasse, carbone), l'actualisation de leur distribution spatiale, l'amélioration de leur régénération naturelle, les processus de leur reproduction, leurs propriétés anatomiques et technologiques, autant de pistes pertinentes pour garantir la pérennité des espèces exploitables du genre *Entandrophragma*.

Mots-clés : *Entandrophragma*, aménagement forestier, exploitation forestière, bois, économie, forêt dense humide, gestion durable, reboisement, Afrique.

ABSTRACT

Improved management of species of the African *Entandrophragma* genus, now listed as vulnerable

Because of the quality of their wood and their many traditional uses, species of the *Entandrophragma* genus are being intensively logged, and this is likely to compromise their survival unless sustainable management is introduced. This study reviews the current status of the five main commercial *Entandrophragma* species: *Entandrophragma angolense*, *E. congoense* (often confused with *E. angolense*), *E. candollei*, *E. cylindricum* and *E. utile*. We suggest directions for research to improve sustainable management strategies for this genus. The study draws mainly on published scientific data, economic data (production and export statistics) and on relevant laws and regulations, but also on existing management plans and inventory reports. Although these species are reported as vulnerable on the IUCN Red List, knowledge on their management is still patchy. Industrial and artisanal logging is intensive and does not always follow a validated management plan or abide by the minimum rotation period, both of which would help to ensure the renewal of these resources. Managing them to ensure that logging is sustainable in the long term requires management measures to be developed and complied with. Sustainable use has to be based on appropriate management of natural stands and on reforestation and conservation measures. Research studies to be developed should encompass the growth rates of the species in the light of the changing climate, assessments of stocks (timber, biomass and carbon), updates of their spatial distribution, improvements to natural regeneration, reproduction processes and the anatomical and technical properties of each species. All these research topics are necessary to ensure the permanence of these *Entandrophragma* species.

Keywords: *Entandrophragma*, forestry, logging, wood, economy, dense humid forest, sustainable management, reforestation, Africa.

RESUMEN

Retos y mejoras para la gestión de las especies del género *Entandrophragma*, árboles africanos que han pasado a ser vulnerables

Por la calidad de su madera y sus numerosos usos tradicionales, las especies del género *Entandrophragma* son objeto de una intensa explotación, que puede comprometer su durabilidad sin una gestión sostenible. Este estudio describe la situación de las cinco especies comerciales principales de este género: *Entandrophragma angolense*, *E. congoense* (a menudo asimilada por error a *E. angolense*), *E. candollei*, *E. cylindricum* y *E. utile*. Y propone líneas de investigación para mejorar las estrategias de gestión sostenible aplicadas a este género. El estudio se basa principalmente en los datos científicos (publicaciones), económicos (estadísticas de producción y de exportación) y jurídicos (leyes y reglamentaciones), pero también en la ordenación forestal y los informes de los inventarios. Los conocimientos sobre la gestión de estas especies todavía son parciales, mientras que se consideran vulnerables en la lista roja de la UICN. La fuerte explotación industrial y artesanal de estas especies no se realiza siempre respetando un plan de ordenación validado, ni la duración mínima de las rotaciones que permitirían una tasa de repoblación que perpetuase este recurso. Su gestión sostenible exige principalmente el desarrollo y el respeto de medidas de ordenación para que la explotación sea renovable a largo plazo. Esta explotación debe basarse en una gestión adecuada de las poblaciones naturales y en la repoblación, así como en las medidas de conservación. Las investigaciones que se desarrollen deben tener en consideración la velocidad de crecimiento ante las evoluciones climáticas, la evaluación de los stocks (producción, biomasa, carbono), la actualización de la distribución espacial, la mejora de la regeneración natural, los procesos de reproducción, las propiedades anatómicas y tecnológicas, todas ellas pistas pertinentes para garantizar la perpetuidad de las especies explotables del género *Entandrophragma*.

Palabras clave: *Entandrophragma*, ordenación forestal, explotación forestal, leña, economía, bosque denso húmedo, gestión sostenible, repoblación, África.

Introduction

L'extraction du bois est une des causes directes de la déforestation tropicale (Geist *et al.*, 2002 ; Gillet *et al.*, 2016). Cependant, Karsenty et Ongolo (2012) notent que, hormis des cas d'exploitations très intensives du bois en Asie du Sud-Est et en Amérique latine, l'exploitation forestière sous les tropiques humides est généralement sélective et il est rare qu'elle conduise directement à un abattage et à des dégâts tels que l'on puisse parler de déforestation. Dans le bassin du Congo, Doucet et Kouadio (2007) précisent que le marché du bois est aussi très sélectif et qu'en conséquence l'exploitation est limitée aux plus grands et plus beaux arbres de quelques espèces de forte valeur marchande. Dans ce cadre, l'exploitation de tiges de qualité supérieure d'un nombre réduit d'espèces peut conduire à un écrémage génétique de ces espèces (Nanson, 2004). Ce risque d'érosion génétique concerne de nombreuses espèces d'arbres africains d'intérêt économique, dont celles du genre *Entandrophragma*.

Le genre *Entandrophragma* C. DC. comprend, selon les sources, de dix à douze espèces d'arbres distribuées exclusivement en Afrique tropicale (Kasongo Yakusu *et al.*, 2018). Au sein de la famille des Meliaceae, ce genre est le plus riche en espèces précieuses exploitées comme bois d'œuvre (Tailfer, 1989 ; Kasongo Yakusu *et al.*, 2018). Cette exploitation opère à des fins industrielles depuis des décennies (Lebacqz et Istas, 1950), en raison de l'excellente qualité de leur bois convenant à divers usages, notamment en ébénisterie. Lescuyer *et al.* (2012) montrent que ces espèces font aussi l'objet d'une exploitation artisanale. La qualité technologique du bois, et donc sa valeur commerciale, varie d'une espèce à l'autre. Les populations de *Entandrophragma* des forêts denses humides relèvent de *E. angolense* (Welw.) C. DC. (nom commercial : tiama blanc), *E. candollei* Harms (kosipo), *E. congoense* (Pierre ex De Wild.) A. Chev. (tiama noir), *E. cylindricum* (Dawe & Sprague) Sprague (sapelli) et *E. utile* (Dawe & Sprague) Sprague (sipo). Elles s'étendent en une large bande au nord et au sud de l'équateur, depuis le littoral atlantique jusqu'au versant occidental de la dorsale du Kivu à l'est, en passant par le bassin du Congo (White, 1986 ; Kasongo Yakusu *et al.*, 2018). Ces espèces fournissent des bois parmi les plus précieux (Hall, 2008 ; IITO, 2017). En République centrafricaine (RCA), elles représentent plus de 70 % du volume total de bois exporté (Hall, 2008). Elles ont été abondamment exploitées en Afrique de l'Ouest. La Côte d'Ivoire a exporté plus de 3,7 millions de m³ de grumes de *Entandrophragma* et plus de 400 000 m³ de sciages entre 1970 et 1974¹. L'exploitation de ces espèces s'est donc tarie en Afrique de l'Ouest mais s'est progressivement déplacée vers l'Afrique centrale (Bayol *et al.*, 2012).

Ces cinq principales espèces de *Entandrophragma* exploitées croissent dans les forêts denses humides sempervirentes et semi-décidues (Meunier *et al.*, 2015 ; Kasongo Yakusu *et al.*, 2018) où elles ont fait l'objet de prélèvements d'une importance telle que les régénérations naturelles n'ont pu permettre de reconstituer les populations dans leurs

états initiaux. Ce d'autant plus que cette régénération naturelle est parfois déficiente (Lemmens, 2008). Cela engendre de sérieuses inquiétudes quant aux risques conservatoires qui pèsent sur ces espèces inscrites comme *vulnérables* sur la liste rouge de l'UICN (UICN, 2012). L'inscription à cette catégorie n'a pas pour but d'interdire leur exploitation, mais plutôt d'attirer l'attention des gestionnaires forestiers (État et exploitants forestiers) sur la nécessité de mettre en place les conditions d'une gestion durable des ressources forestières et, plus particulièrement, de ces espèces. Le statut de conservation des espèces du genre *Entandrophragma* sera certainement appelé à évoluer en fonction des conditions de leur exploitation, de leur régénération et de la dynamique de leurs populations. Il convient donc de dresser un état de ces espèces en intégrant leur importance économique, ainsi que les législations et les réglementations en vigueur en matière de gestion de la ressource. Il s'agit de collecter des informations pertinentes sur leur dynamique de croissance, leurs exigences environnementales, leurs valeurs économiques basées sur les propriétés anatomiques et technologiques de leurs bois, et leur importance sociale.

La présente revue de la littérature rassemble et analyse les connaissances publiées sur les espèces de *Entandrophragma* les plus exploitées en Afrique (sapelli, sipo, kosipo, tiama blanc et noir) en vue de :

- caractériser leur croissance et la qualité de leur bois ;
- évaluer l'importance de leur exploitation ;
- décrire leur situation économique, industrielle et commerciale ;
- analyser l'impact des mesures légales et réglementaires en matière d'aménagement et de gestion ;
- discuter de la pertinence de leur statut de conservation au regard des pressions anthropiques sur leurs populations ;
- dégager des thématiques de recherche visant une bonne gestion de leurs populations à même de pérenniser leur exploitation.



Photo 2.

Sciages de bois de *Entandrophragma cylindricum* prêts pour être exportés.
Photo N. Bourland.

¹ Source : Revue *Bois et Forêts des Tropiques*, rubrique « Commerce des bois tropicaux ».

Dynamique de croissance

Analyses de cernes et rythme de croissance

Analyses de cernes

Les cernes de croissance distincts sont marqués par un changement structurel soudain aux limites entre eux, comprenant généralement un changement d'épaisseur de paroi de la fibre et/ou de diamètre radial de la fibre, alors que les cernes de croissance indistincts ou absents sont vagues et marqués par des modifications structurelles plus ou moins progressives à leurs limites, elles-mêmes mal définies ou non visibles (IAWA, 1989). L'analyse de cernes permet de mesurer le rythme passé de croissance d'un arbre



Photo 3.

Mise en paille et inscription des données d'une carotte extraite d'une tige de *Entandrophragma* sp. dans la zone tampon de la Réserve de biosphère de Yangambi.
Photo M. Devriendt.

et ses variations face aux évolutions climatiques par l'analyse de la relation largeur des cernes / pluviométrie. Elle permet aussi d'estimer son âge. La présence et la lisibilité des cernes permettent l'analyse dendrochronologique, à la condition que chaque cerne puisse être associé à une année donnée et mesuré avec précision (Fétéké *et al.*, 2016). Les premières observations faites sur des espèces du genre *Entandrophragma*, notamment *E. cylindricum* et *E. utile*, présentent des cernes limités par une fine ligne continue et susceptibles d'être annuels (Détienne et Mariaux, 1977 ; Poorter *et al.*, 2004). Cependant, Lemmens (2008) note que les limites des cernes de *E. angolense*, *E. cylindricum* et *E. utile* sont parfois indistinctes voire absentes et que celles de *E. candollei* sont indistinctes ou absentes. Même si la lecture des cernes chez les espèces du genre *Entandrophragma* peut s'avérer difficile, elle permettrait d'approfondir les connaissances sur leur vitesse de croissance diamétrique, au moins pour certaines d'entre elles.

Par ailleurs, l'étude des isotopes stables de l'oxygène ($\delta^{18}O$) dans les cernes de croissance des arbres tropicaux est un outil prometteur pour les reconstructions climatiques à haute résolution, selon une temporalité annuelle. En raison des cernes de croissance facilement mesurables et datables dans *E. utile*, de la présence d'un signal $\delta^{18}O$ commun fort et de sa relation avec les précipitations régionales, Van der Sleen *et al.* (2015) présentent l'analyse $\delta^{18}O$ de ces cernes comme un outil prometteur pour une reconstitution de la variabilité climatique manifestée au cours des derniers siècles en Afrique. Cette nouvelle recherche appliquée à d'autres espèces commerciales de *Entandrophragma* permettrait des reconstructions climatiques à partir de cernes de croissance distincts.

Rythme de croissance

Selon Couralet *et al.* (2010), le rythme de croissance des arbres, donc la formation des cernes de croissance, dépend principalement des variations climatiques. Les saisons optimales pour la croissance en diamètre et la formation des cernes des *Entandrophragma* en Côte d'Ivoire, au Cameroun et en RCA sont les deux saisons pluvieuses. Un bref arrêt de croissance en diamètre chez certaines tiges est observé au cours de la petite saison sèche de juillet-août alors que la grande saison sèche correspond à une période de croissance ralentie ou nulle (Détienne et Mariaux, 1977 ; Fétéké *et al.*, 2016). D'une manière générale, la reprise de l'activité de croissance chez les *Entandrophragma* a lieu pendant le premier mois pluvieux et n'est pas modifiée par des variations du régime des pluies au cours de la saison végétative d'avril à novembre (Détienne et Mariaux, 1977).

Mesure des accroissements diamétriques

En Afrique centrale et occidentale, les règles de gestion des essences commerciales reposent sur le taux de reconstitution du nombre et du volume sur pied des espèces exploitées (Durrieu de Madron et Forni, 1997). Le calcul du

Tableau I.

Accroissement diamétrique annuel moyen des espèces de *Entandrophragma*. Cam : Cameroun ;
 RCA : République centrafricaine ; CI : Côte d'Ivoire ; RC : République du Congo.

Espèces	Méthode utilisée					
	Analyse de cernes (mm/an) Détienne <i>et al.</i> , 1998			Owona Ndongo <i>et al.</i> , 2009 Cam	Mesure de circonférence (mm/an)	
	Cam et CI	RCA (FAC 192)	RCA (Sangha M'Baéré)		Détienne <i>et al.</i> , 1998 Ghana	Gillet <i>et al.</i> , 2008 RC
<i>Entandrophragma angolense</i>	5,8	4,6	4,9	-	4-5	4
<i>Entandrophragma candollei</i>	5,8	5,1	4,6	4,4	4-5	6
<i>Entandrophragma cylindricum</i>	3,4	4,8	3,9-4,7	3	4-5	8
<i>Entandrophragma utile</i>	3,7	5,8	6,5	-	4-5	8,5

- : pas d'information.

taux de reconstitution se base notamment sur la vitesse de croissance diamétrique (Fétéké *et al.*, 2016). Des analyses de cernes et des mesures de diamètres répétées dans le temps (tableau I) ont été réalisées au Cameroun, en Côte d'Ivoire, au Ghana, en RCA et en République du Congo (Congo) pour étudier la croissance de certaines espèces commerciales de *Entandrophragma* (Détienne et Mariaux, 1977 ; Adler, 1989 ; Détienne *et al.*, 1998 ; Durrieu de Madron *et al.*, 2000 ; Gillet *et al.*, 2008 ; Owona Ndongo *et al.*, 2009 ; Fétéké *et al.*, 2015, 2016). Les accroissements observés avec ces deux méthodes sont comparables. Pour une essence donnée, ils donnent des fourchettes assez précises de vitesses de croissance en diamètre et permettent de calculer le taux de reconstitution entre deux rotations. Pour affiner les connaissances sur leur croissance en diamètre, il serait souhaitable d'approfondir les recherches sur la base d'effectifs plus importants répartis sur l'ensemble de l'aire de répartition des *Entandrophragma* (Durrieu de Madron *et al.*, 2000). Comme la vitesse de croissance dépend aussi fortement de la hiérarchie sociale d'un arbre par rapport aux tiges avoisinantes (Gillet *et al.*, 2008), il s'agirait de mesurer la croissance diamétrique de l'arbre en fonction de son statut social (dominé, co-dominant et dominant). D'après Durrieu de Madron *et al.* (2000), la croissance diamétrique annuelle moyenne de *E. cylindricum* varie de 2,8 à 7,7 mm/an mais Gillet *et al.* (2008) ont montré qu'une partie de cette variabilité s'explique par le statut social de l'arbre. Ainsi, ces auteurs ont déterminé que la croissance moyenne en diamètre d'un arbre dominé était de 5 mm/an, de 8 mm/an pour un co-dominant et de 11 mm/an pour un dominant. Cependant, la vitesse de croissance dépend aussi d'autres facteurs tels que la qualité du sol, la variabilité interannuelle du climat, notamment de la pluviométrie, ainsi que de l'intensité et de l'ancienneté de l'exploitation forestière qui modifient notamment la concurrence entre arbres. L'ensemble de ces facteurs fait que l'accroissement d'un sapelli, ainsi que celui des autres espèces de *Entandrophragma*, peut varier du simple au double selon les années (Fétéké *et al.*, 2016).

Propriétés anatomiques et technologiques

La provenance et les conditions de croissance de l'arbre influent sur les propriétés physiques et mécaniques du bois (Guibal *et al.*, 2015). L'anatomie appliquée permet de comprendre les propriétés du matériau bois et d'expliquer les variations de qualité des bois et des produits transformés (Loupe, 2015). Gérard (1999) recommande donc que ces propriétés, qui permettent de qualifier un bois en fonction de l'usage auquel il est destiné, soient étudiées et analysées systématiquement pour optimiser l'utilisation des essences africaines et répondre de façon pertinente à la demande des industriels et des simples usagers. L'anatomie, par l'identification des grumes et des bois transformés, permet le contrôle du commerce, notamment illégal, des bois. En cela, elle peut contribuer à la gestion durable de certaines espèces d'arbres dont l'exploitation excessive et le commerce peuvent conduire à la disparition de leur habitat et même à leur extinction (Loupe, 2015). Ces connaissances sont nécessaires pour justifier des actions prioritaires de gestion durable, telles l'orientation vers la sylviculture et l'intégration dans des programmes de reboisement des espèces menacées par une forte exploitation, en l'occurrence des espèces du genre *Entandrophragma*.

Propriétés anatomiques

Les descriptions anatomiques du bois de *Entandrophragma* selon les normes IAWA ont été réalisées par plusieurs auteurs dans le cadre de PROTA (Loupe *et al.*, 2008). Ces descriptions ont été intégrées au site *InsideWood* (<http://insidewood.lib.ncsu.edu>). Les caractères anatomiques du bois de ces espèces diffèrent peu, à l'exception de quelques caractères anatomiques distinctifs (Brazier et Franklin, 1961 ; Lemmens, 2008 ; tableau II). La clé d'identification

Tableau II.

Caractères anatomiques distinctifs du bois d'espèces de *Entandrophragma* (adapté d'après Banak *et al.*, 2008). Caractère anatomique : totalement distinctif (il est unique à l'espèce concernée) ; moyennement distinctif (il est aussi observé chez une autre espèce que l'espèce concernée) ; faiblement distinctif (il est aussi observé chez deux autres espèces que l'espèce concernée).

Espèce	Caractères anatomiques		
	Totalement distinctifs	Moyennement distinctifs	Faiblement distinctifs
<i>Entandrophragma angolense</i>	12 : contour des vaisseaux isolés anguleux ; 107 : rayons composés de cellules couchées avec 2 à 4 rangées terminales de cellules dressées et/ou carrées.	94 : plus de huit cellules de parenchyme axial par file verticale.	1 : limites de cernes distinctes (1) ; 98 : rayons couramment 4-10-sériés ; 115 : 4-12 rayons par mm ; 136 : présence de cristaux prismatiques ; 141 : cristaux prismatiques dans les cellules non cloisonnées du parenchyme axial ; 142 : cristaux prismatiques dans les cellules cloisonnées du parenchyme axial.
<i>Entandrophragma candollei</i>	43 : diamètre tangentiel moyen du lumen des vaisseaux $\geq 200 \mu\text{m}$; 84 : parenchyme axial paratrachéal unilatéral ; 159 : présence de corpuscules siliceux ; 160 : corpuscules siliceux dans les cellules des rayons ; 161 : corpuscules siliceux dans les cellules du parenchyme axial.	46 : ≤ 5 vaisseaux par millimètre carré (1) ; 94 : plus de huit cellules de parenchyme axial par file verticale.	82 : parenchyme axial aliforme ; 85 : parenchyme axial en bandes larges de plus de trois cellules ; 86 : parenchyme axial en lignes minces, au maximum larges de trois cellules ; 98 : rayons couramment 4-10-sériés ; 115 : 4-12 rayons par mm.
<i>Entandrophragma cylindricum</i>	25 : ponctuations intervasculaires fines (4-7 μm) ; 81 : parenchyme axial en losange.	97 : rayons 1-3-sériés (larges de 1-3 cellules) ; 104 : rayons composés uniquement de cellules couchées ; 118 : tous les rayons étagés ; 131 : canaux intercellulaires d'origine traumatique ; 137 : cristaux prismatiques dans les cellules dressées et/ou carrées des rayons.	1 : limites de cernes distinctes ; 82 : parenchyme axial aliforme ; 85 : parenchyme axial en bandes larges de plus de trois cellules ; 86 : parenchyme axial en lignes minces, au maximum larges de trois cellules ; 98 : rayons couramment 4-10-sériés ; 115 : 4-12 rayons par mm ; 136 : présence de cristaux prismatiques ; 141 : cristaux prismatiques dans les cellules non cloisonnées du parenchyme axial ; 142 : cristaux prismatiques dans les cellules cloisonnées du parenchyme axial.
<i>Entandrophragma utile</i>		46 : ≤ 5 vaisseaux par millimètre carré (1) ; 97 : rayons 1-3-sériés (larges de 1-3 cellules) ; 104 : rayons composés uniquement de cellules couchées ; 118 : tous les rayons étagés ; 131 : canaux intercellulaires d'origine traumatique ; 137 : cristaux prismatiques dans les cellules dressées et/ou carrées des rayons.	1 : limites de cernes distinctes ; 82 : parenchyme axial aliforme ; 85 : parenchyme axial en bandes larges de plus de trois cellules ; 86 : parenchyme axial en lignes minces, au maximum larges de trois cellules ; 136 : présence de cristaux prismatiques ; 141 : cristaux prismatiques dans les cellules non cloisonnées du parenchyme axial ; 142 : cristaux prismatiques dans les cellules cloisonnées du parenchyme axial.

anatomique des quatre principales espèces de *Entandrophragma* proposée par Brazier et Franklin (1961) a été établie à partir du faible nombre de spécimens (quatre à sept par espèce). Elle a donc été complétée (tableau II) grâce aux descriptions anatomiques réalisées par Lemmens (2008). Cinq caractères permettent de différencier totalement *E. candollei* (43, 84, 159, 160 et 161²) ; deux permettent de distinguer *E. angolense* (12 et 107) et *E. cylindricum* (25 et 81). Cinq caractères anatomiques moyennement distinctifs (97, 104, 118, 131 et 137) rapprochent *E. cylindricum* et *E. utile*, espèces que deux caractères anatomiques séparent (25 et 81) ; le caractère peu distinctif (98) s'observe chez

E. cylindricum, et le (46) chez *E. utile*. En outre, le bois de *E. cylindricum* a souvent une plus jolie couleur et est plus joliment figuré (Kémeuzé, 2008 ; Lemmens, 2008). Les bois de *E. candollei* et *E. angolense* ont en commun un caractère anatomique moyennement distinctif (94). *E. candollei* se différencie des trois autres espèces par la présence de silice dans les rayons, le parenchyme axial et les fibres (159, 160 et 161).

L'anatomie du bois de ces espèces devrait être approfondie pour mieux distinguer les limites des cernes de croissance via l'analyse du diamètre des vaisseaux. La mesure de la largeur des cernes de la moelle à l'écorce à différentes hauteurs du tronc permettra ainsi d'améliorer les connaissances sur la croissance en diamètre et en hauteur des *Entandrophragma* (Beeckman, 2016).

² Les chiffres repris ici correspondent aux numéros des traits anatomiques, normalisés par l'Association internationale des anatomistes du bois (IAWA ; Wheeler *et al.* 1989) et repris au tableau II.

Tableau III.

Les principales caractéristiques physiques et mécaniques des espèces de *Entandrophragma* exploitées.

Caractéristiques	<i>Entandrophragma angolense</i>	<i>Entandrophragma candollei</i>	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	<i>Entandrophragma utile</i>
1. Physiques				
Masse volumique à l'état vert (kg/m ³)	850-950	850-950	850-950	800-900
Masse volumique à l'état sec* (kg/m ³)	500-735	570-810	560-780	550-680
Dureté Monnin*	2,4	3,2	4,2	3
Point de saturation des fibres (%)	33	32	29	30
Retrait volumique total (%)	12	13,1	13,1	12,4
Retrait tangentiel total (%)	5,8 - 9,6	5,7-7,6	4,3-9,8	6,4
Retrait radial/axial total (%)	3,8-6,6	4,4-5,1	3,5-7,6	4,6
Stabilité aux variations d'humidité de l'air	Moyenne	Faible	Faible à moyenne	Faible à moyenne
Stabilité en moyenne	Moyennement stable à stable	Stable	Moyennement stable	Moyennement stable à stable
2. Mécaniques				
Contrainte de rupture en compression parallèle* (N/mm ²)	37-67	47-53	40-75	45-72
Contrainte de rupture en flexion statique * (N/mm ²)	92-127	97-122	114-142	101-114
Module d'élasticité longitudinal/ en flexion* (N/mm ²)	7 900-14 700	7 940-11 800	11 200-11 300	8 830-13 830
Sources	Cirad, 2015 ; Dahms, 1999 ; Tchinda, 2008 ; Gérard <i>et al.</i> , 1998 ; ATIBT, 1986	Cirad, 2015 ; Nyunai, 2008 ; Dahms, 1999 ; Gérard <i>et al.</i> , 1998 ; ATIBT, 1986	Cirad, 2015 ; Kémeuzé, 2008 ; Dahms, 1999 ; Gérard <i>et al.</i> , 1998 ; ATIBT, 1986	Cirad, 2015 ; Dahms, 1999 ; Kémeuzé, 2008 ; Gérard <i>et al.</i> , 1998 ; ATIBT, 1986

* À 12 % d'humidité.

Valeur socio-économique

Propriétés technologiques

Les propriétés du bois des principales espèces de *Entandrophragma* exploitées sont bien documentées (ATIBT, 1986 ; Gérard *et al.*, 1998 ; Dahms, 1999 ; Kémeuzé, 2008 ; Nyunai, 2008 ; Tchinda, 2008 ; Cirad, 2015 ; Gérard *et al.*, 2016). Elles apparaissent très variables d'une espèce à l'autre comme au sein d'une espèce donnée. Les principales caractéristiques physiques et mécaniques (masse volumique à l'état sec, dureté et stabilité) des quatre espèces commerciales de *Entandrophragma* sont résumées au tableau III. Celles-ci prédisposent ces espèces à l'industrie du bois, d'autant que leur bois de cœur mis en œuvre hors milieu humide est également connu pour résister aux attaques de champignons, d'insectes de bois sec et de termites (Staner *et al.*, 1958 ; Gérard et Gilbert, 2016).

Valeur économique

Les espèces de *Entandrophragma* tout comme celles de *Swietenia* Jacq. et *Khaya* A. Juss. sont reprises sous l'appellation anglo-saxonne *mahogany* ou acajou, regroupant les meilleurs bois d'ébénisterie dans le monde (White et Gasson, 2008). Les acajous d'Afrique regroupent les genres *Khaya* et *Entandrophragma* qui sont parmi les espèces forestières les plus précieuses et ont fait l'objet d'un commerce important, au point de représenter par exemple plus de 70 % du volume total exporté de RCA (Hall, 2008). *Entandrophragma* est le seul genre dont cinq espèces sont exploitées en forêts denses humides africaines (Staner et Gilbert, 1958 ; Bayol *et al.*, 2012). Pour comprendre l'importance économique de ces espèces et les menaces qui pèsent sur leur futur, il serait judicieux de retracer l'évolution des

collectes dans leur aire de répartition depuis les années 1960, pays par pays, afin de suivre la migration des zones d'exploitation au cours du temps.

Aire de distribution

Six espèces de *Entandrophragma* ont de très larges distributions guinéo-congolaises : *E. angolense*, *E. candollei*, *E. congoense*, *E. cylindricum*, *E. palustre* et *E. utile* (Kasongo Yakusu *et al.*, 2018). À l'exception de *E. palustre* qui se cantonne aux forêts marécageuses, essentiellement en RDC et au Congo (Lemmens, 2008), les cinq autres espèces croissent dans les forêts denses humides sempervirentes et semi-décidues (Meunier *et al.*, 2015 ; Kasongo Yakusu *et al.*, 2018). La figure 1 présente la répartition géographique de ces espèces, adaptée d'après la base de données Rainbio (Dauby *et al.*, 2016). Les espèces *E. cylindricum* et *E. angolense* présentent la distribution la plus étendue et sont plus abondantes localement que *E. candollei* et *E. utile* (Doumenge *et al.*, 2010 ; Kasongo Yakusu *et al.*, 2018).

Concentration de la production en Afrique occidentale

Les statistiques, à partir des années 1960, de la production du bois en grumes ou d'exportation par type de produit (grumes, sciages, placages déroulés et contreplaqués) et par espèce de *Entandrophragma* sont rarement disponibles et accessibles. De plus, elles ne sont pas régulières, ni continues de manière chronologique. Les données publiées dans la revue *Bois et Forêts des Tropiques* à la rubrique « Commerce des bois tropicaux » entre 1963 et 1974 permettent de retracer l'évolution des exportations de grumes de *Entandrophragma* de 1963 à 1973 pour la Côte d'Ivoire, le Cameroun et le Gabon. Les statistiques de l'ATIBT, fragmentaires, permettent de compléter les chiffres pour le Gabon sur la période 1998-2003. Pendant la période 1963-1973, d'importantes quantités de grumes de *Entandrophragma* ont été exportées : la Côte d'Ivoire a exporté ± 6 millions de m³ de sipo, $\pm 1,5$ million de m³ de

sapelli et $\pm 1,5$ million de m³ de tiama blanc ; le Cameroun, $\pm 350\ 000$ m³ de sapelli, $\pm 150\ 000$ m³ de sipo et $\pm 40\ 000$ m³ de kosipo ; le Congo, $\pm 200\ 000$ m³ de sipo, $\pm 150\ 000$ m³ de sapelli et $\pm 75\ 000$ m³ de tiama ; et le Gabon, $\pm 25\ 000$ m³ de sipo, $\pm 15\ 000$ m³ de tiama blanc et $\pm 7\ 000$ m³ de sapelli. La figure 2 présente les évolutions annuelles de ces exportations. Pour la période 1996-2013, seules les statistiques du Gabon sont disponibles : ce pays a exporté $\pm 200\ 000$ m³ de *Entandrophragma*.

La Côte d'Ivoire est le pays qui a le plus exploité les espèces commerciales de *Entandrophragma*, avec 10 millions de mètres cubes de grumes exploités entre 1963 et 1973. Cette forte exploitation associée à l'extension des terres agricoles au détriment des forêts y a fortement réduit la ressource. Dès le milieu des années 1970, les exportations ont commencé à baisser (figure 2). Cet appauvrissement de la ressource s'est concrétisé dans les années 2000. Les statistiques d'entrées de grumes en usine ne font alors plus référence qu'au seul *E. angolense* avec 41 700 m³ de grumes en 2004 et 10 400 m³ en 2012 (Louppe et Ouattara, 2013), les autres espèces du genre n'étant plus exploitées qu'en faibles quantités.

Afrique centrale, nouveau pool de production

Actuellement, l'exploitation de ces espèces s'est déplacée vers d'autres régions. Le tableau IV présente cette évolution entre 2005 et 2012, pendant laquelle la production contrôlée de grumes des *Entandrophragma* en Afrique centrale est la suivante :

- sapelli : Congo $\pm 3,5$ millions de m³, Cameroun ± 3 millions de m³, RCA ± 2 millions de m³ et RDC $\pm 500\ 000$ m³ ;
- sipo : Congo $\pm 550\ 000$ m³, RDC $\pm 200\ 000$ m³ et RCA $\pm 150\ 000$ m³ ;
- kosipo : Cameroun $\pm 300\ 000$ m³, RCA $\pm 150\ 000$ m³, Congo $\pm 75\ 000$ m³ et RDC $\pm 50\ 000$ m³ ; tiama blanc : RCA $\pm 100\ 000$ m³ et RDC $\pm 100\ 000$ m³.

Au début des années 2010, le Congo et le Cameroun sont les principaux producteurs de bois de *Entandrophragma* (Bayol *et al.*, 2012). L'historique du commerce du sapelli illustre très bien l'ampleur de l'exploitation des espèces de ce genre. En Afrique de l'Ouest, l'exploitation a fortement réduit les populations de sapelli, si bien que son exploitation s'est déplacée vers l'Afrique centrale, principal pôle de production actuel (Eckebil *et al.*, 2017) où il s'agit de l'espèce d'acajou de loin la plus exploitée avec $\pm 1,3$ million de m³ en 2008 (Bayol *et al.*, 2012). En comparaison, l'exploitation du sipo et du kosipo est faible avec, en 2008, $\pm 130\ 000$ et $\pm 100\ 000$ m³ respectivement (figure 3). En Afrique centrale, en 2008, seul l'okoumé (*Aucoumea klaineana*) était plus exploité que le sapelli. Les faibles volumes exploités de sipo s'expliquent par sa forte dissémination dans le massif forestier. Sa rareté a ainsi conduit certains aménagistes à l'exclure des principales essences à exploiter (Bayol *et al.*, 2012).

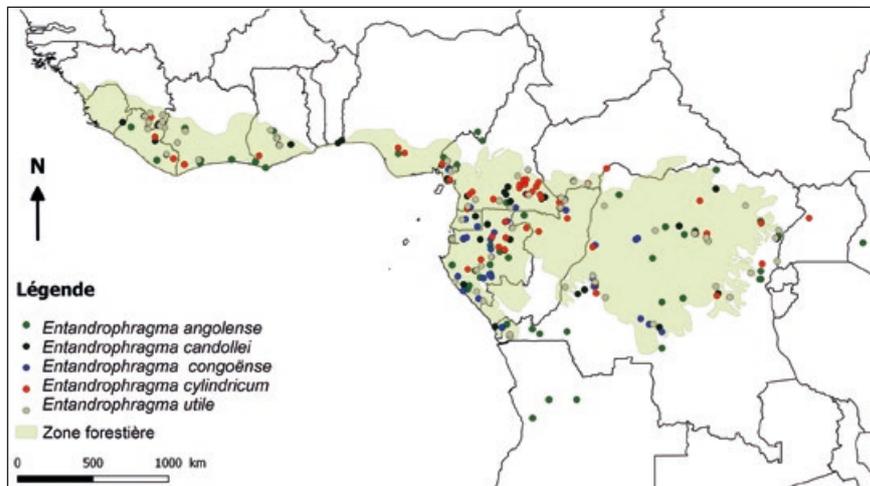


Figure 1. Répartition géographique des principales espèces commerciales du genre *Entandrophragma* (carte adaptée d'après la base de données « Rainbio » (Dauby *et al.*, 2016))

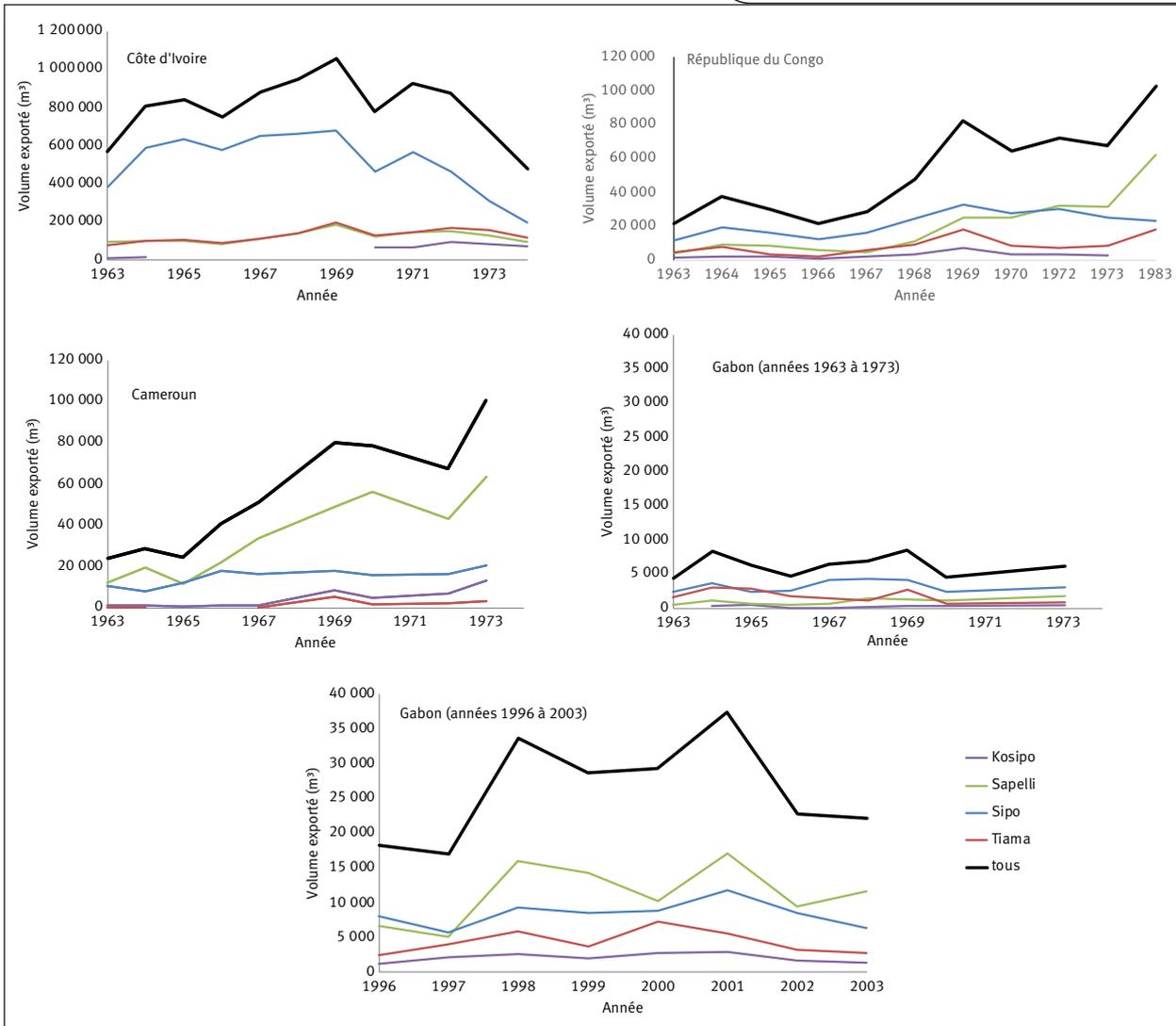


Figure 2. Évolution des exportations de bois des *Entandrophragma* en Côte d'Ivoire (de 1963 à 1973), au Cameroun (de 1963 à 1973), au Congo (de 1963 à 1973) et au Gabon (de 1963 à 1973 et de 1996 à 2003). Sources : avant 1973, revue *Bois et Forêts des Tropiques* ; après 1998, *La Lettre de l'ATIBT*.

Valeur sociale

Multiplicité des usages sociaux

Les *Entandrophragma* présentent des usages multiples bien connus des populations locales (tableau V). Celles-ci se servent des différentes parties de l'arbre pour satisfaire leurs besoins en aliments telles les chenilles, pour la construction, l'artisanat, la pharmacopée, l'économie de subsistance ou pour le transport fluvial avec la fabrication de pirogues. L'écorce de ces espèces est utilisée en pharmacopée contre plusieurs maladies. Les racines de *E. candollei* sont utilisées comme anti-venin contre les morsures de serpents. Les graines de *Entandrophragma*, notamment *E. angolense*, sont riches en huiles qui mériteraient des études détaillées sur leurs propriétés, notamment leur toxicité (Lemmens *et al.*, 2010). Compte tenu de leurs multiples usages médicinaux, il serait souhaitable d'approfondir les études pharmacologiques à partir des écorces et des racines ainsi que les études chimiques de façon à identifier les molécules actives.

Analyse et gestion des conflits sociaux potentiels

Certains usages peuvent avoir des impacts positifs ou négatifs sur les peuplements de *Entandrophragma* et constituer des sources de conflits entre les communautés locales et les gestionnaires des concessions forestières. Par exemple, l'abattage des arbres limite les possibilités de collecte de chenilles. La récolte des chenilles comestibles de l'espèce *Imbrasia oyemensis*, inféodées aux grands sapellis, se déroule entre juillet et août (Palla *et al.*, 2002 ; Eckebil *et al.*, 2017). Il a été parfois observé que cette collecte à des fins alimentaires ou pour la pharmacopée a entraîné l'abattage d'arbres au lieu de favoriser leur conservation par les utilisateurs. Cette utilisation de produits forestiers non ligneux par les populations forestières s'oppose à l'exploitation industrielle (Vermeulen *et al.*, 2009) et crée de potentiels conflits entre exploitants et populations environnantes. Il faudrait envisager une gestion inclusive des forêts de production en Afrique centrale pour éviter ou réduire ce

Tableau IV.

Production de bois des *Entandrophragma* (volume abattu en m³) de 2005 à 2012 au Cameroun, en République du Congo, en République centrafricaine et en République démocratique du Congo (adaptée d'après de Wasseige *et al.*, 2014).

Date	Cameroun				République du Congo				République centrafricaine				République démocratique du Congo			
	Kosipo	Sapelli	Sipo	Tiama	Kosipo	Sapelli	Sipo	Tiama	Kosipo	Sapelli	Sipo	Tiama	Kosipo	Sapelli	Sipo	Tiama
2005	41 315	378 756	-	-	4 320	496 547	72 906	-	6 786	215 220	21 896	3 095	4 189	34 792	20 565	9 669
2006	45 367	377 142	-	-	12 177	316 098	75 971	-	17 174	335 604	28 909	14 399	-	65 465	31 773	11 992
2007	43 751	395 469	-	-	29 641	295 221	80 076	-	24 033	295 954	21 098	14 561	-	60 914	26 952	10 986
2008	46 151	408 068	30 901	-	13 269	343 652	35 749	-	3 0921	271 283	28 329	16 493	8 303	56 542	30 537	15 716
2009	35 267	264 771	-	-	-	412 406	128 530	-	12 548	188 206	17 359	5 176	12 768	62 079	39 356	17 312
2010	-	343 797	-	-	-	540 563	53 641	-	16 798	185 619	-	5 931	-	68 561	15 964	10 416
2011	-	365 446	-	-	-	546 440	49 035	-	22 050	215 616	13 937	17 623	-	79 811	15 902	5 714
2012	43 717	375 729	-	-	-	449 456	52 379	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	255 568	2 099 178	30 901	-	59 407	3 400 383	548 287	-	130 310	1 707 502	131 528	77 278	2 726	428 164	181 049	81 805

- : pas d'information.

genre de conflits (Karsenty et Vermeulen, 2016). Ce modèle de gestion est observé par exemple au nord du Congo où les sociétés forestières certifiées FSC (Forest Stewardship Council) marquent les sapellis à chenilles avec les populations locales pour éviter leur abattage. En complément de l'efficacité de cette approche participative, la compagnie CFT (Compagnie forestière de transformation) (2015) préconise qu'une analyse des conflits d'usage potentiels soit entreprise village par village, au moment de la préparation des plans annuels d'exploitation, afin que des mesures de réduction de l'impact social soient prises, notamment en protégeant les arbres importants pour les populations locales. Tieguhong *et al.* (2017) renchérissent sur la nécessité de disposer d'informations sur la disponibilité et l'accessibilité des espèces d'arbres à usages multiples, pour

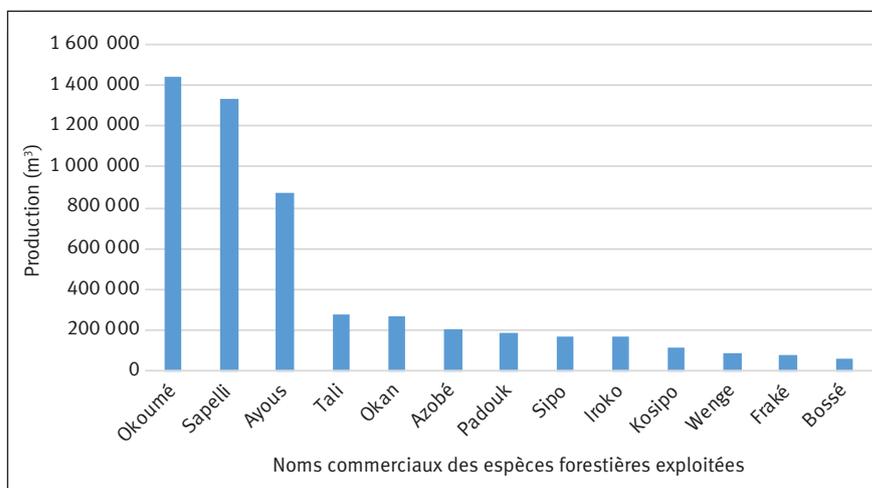
négoier un mode de gestion qui satisfasse à la fois les concessionnaires et les communautés locales. Ainsi, certaines populations de sapelli ou d'autres espèces de *Entandrophragma* de grande valeur commerciale présentes dans les terroirs villageois seraient à classer en zone de Haute Valeur de Conservation de type 5 s'agissant de « zones forestières fournissant aux communautés locales des ressources nécessaires à la satisfaction de leurs besoins élémentaires » (Daïnou *et al.*, 2016).

Gestion des populations de *Entandrophragma*

Statut de conservation

Bref aperçu sur l'approche de classification

Les quatre principales espèces de *Entandrophragma* (le tiama noir étant assimilé au tiama blanc bien que les deux espèces soient morphologiquement et génétiquement distinctes ; Monthe *et al.*, 2018) sont classées comme *vulnérables* sur la liste rouge de l'UICN (UICN, 2012). Aucune n'est cependant inscrite à l'annexe I de la CITES qui « comprend toutes les espèces menacées d'extinction » (CITES, 1983) ou à l'annexe II qui « comprend toutes les espèces qui pourraient être menacées d'extinction si le commerce des spécimens de ces espèces n'était pas soumis à une réglementation stricte » (CITES, 1983). Un taxon est dit vulnérable lorsque les meilleures données disponibles (Sépulchre *et al.*, 2008) indiquent qu'il répond, à des degrés bien précis, à l'un des cinq critères suivants : réduction de la population, répartition géographique (zone d'occurrence et zone d'occupation) fragmentée ou en déclin, population de petite taille et en

**Figure 3.**

Production évaluée par essence en 2008 dans le bassin du Congo (m³) (Bayol *et al.*, 2012). Okoumé : *Aucoumea klaineana* ; sapelli : *Entandrophragma cylindricum* ; ayous : *Triplochiton scleroxylon* ; tali : *Erythrophleum* spp. ; okan : *Cylicodiscus gabunensis* ; azobé : *Lophira alata* ; padouk : *Pterocarpus soyauxii* ; sipo : *Entandrophragma utile* ; iroko : *Milicia excelsa* ; kosipo : *Entandrophragma candollei* ; wenge : *Millettia laurentii* ; fraké : *Terminalia superba* ; bossé : *Leplaea* spp.

Tableau V.
 Usages sociaux de quatre espèces de *Entandrophragma*.

Parties utilisées	Usages			
	<i>Entandrophragma angolense</i> (tiama)	<i>Entandrophragma candollei</i> (kosipo)	<i>Entandrophragma cylindricum</i> (sapelli)	<i>Entandrophragma utile</i> (sipo)
Arbres	Utilisé dans le système agroforestier comme arbre d'alignement et d'ombrage.		Utilisé dans le système agroforestier comme arbre d'alignement, d'ornement et d'ombrage. Hôte des chenilles comestibles.	
Bois	Cercueils, instruments de musique, jouets, sculpture, bois d'œuvre, bois de feu et charbon de bois.	Bois d'œuvre, jouets et bibelots.	Instruments de musique, sculptures, jouets, articles de fantaisie, fabrication de pirogues monoxyles, bois d'œuvre, bois de feu et charbon de bois.	Sculpture, fabrication des pirogues monoxyles, bois d'œuvre, bois de feu et charbon de bois.
Écorce	Sa décoction se boit pour traiter la fièvre et l'écorce s'emploie comme antalgique contre les maux d'estomac, les ulcères peptiques, le mal d'oreille, les douleurs rénales, rhumatismales ou arthritiques, l'ophtalmie, les œdèmes et les ulcères.	Fièvre jaune, paludisme, typhoïde. Utilisée comme antalgique.	Ses décoctions ou macérations sont utilisées contre la bronchite, les affections pulmonaires, les rhumes, les œdèmes le paludisme et comme antalgique. La pulpe contre les furoncles et les plaies. Ses extraits servaient jadis d'agent protecteur du maïs stocké.	Son jus traite les maux d'estomac et les douleurs aux reins, les rhumatismes, l'instillation oculaire, les inflammations, l'otite, les maux de tête, le paludisme et les ulcères gastro-duodénaux.
Feuilles	-	-	Comestibles et hôtes des chenilles du papillon <i>Imbrasia oyemensis</i> .	Hôte des chenilles comestibles.
Graines	Riche source d'huile (teneur lipidique d'environ 60 %).	-	Source d'huile (d'environ 45 % de teneur).	Source d'huile (d'environ 30-54 % de teneur) et d'huile essentielle.
Racine	-	L'écorce de racine s'applique sur les morsures de serpent.	-	-
Sources	Tchinda, 2008.	Dibong <i>et al.</i> , 2011 ; Nyunaï, 2008	Jagoret <i>et al.</i> , 2014 ; Mate <i>et al.</i> , 2013 ; Lisingo <i>et al.</i> , 2012 ; Dibong <i>et al.</i> , 2011 ; Kémeuzé, 2008	Mate <i>et al.</i> , 2013 ; Lisingo <i>et al.</i> , 2012 ; Mujuni, 2008 ; Onifade, 2006

- : pas d'information.

déclin (nombre d'individus matures), population très petite ou restreinte, probabilité d'extinction de plus de 50 % sur 10 ans ou trois générations. Cette méthodologie proposée par l'UICN a été en partie remise en question par Sèpulchre *et al.* (2008) puisque certains critères, difficilement quantifiables, proviennent d'estimations portant sur des individus adultes au niveau global. L'élaboration de listes rouges régionales et/ou sous-régionales a été envisagée par l'UICN (Sèpulchre *et al.*, 2008) ; elles permettraient une meilleure évaluation du risque pesant localement sur les espèces. Les *Entandrophragma* de Côte d'Ivoire pourraient de la sorte être classées en danger d'extinction par surexploitation et réduction drastique de leur habitat, suite aux changements d'affectation des terres.

L'intensification de l'exploitation

L'exploitation intensive des *Entandrophragma* en Afrique centrale pourrait, tout comme en Afrique de l'Ouest, compromettre la pérennité de ces espèces. Cette situation varie d'une espèce à l'autre et d'une région à l'autre. En Afrique centrale, le sapelli était encore abondant en 2008 malgré une forte exploitation au nord du Congo, au sud-ouest de la RCA et en RDC. À cette époque, cette espèce ne présentait pas de signe de vulnérabilité marquée (Sèpulchre *et al.*, 2008), mais comme elle fournit l'un des bois d'œuvre africains les plus importants commercialement, elle est toujours exploitée sans que des efforts suffisants soient assurés pour la pérenniser (Kémeuzé, 2008). Le risque est alors que se reproduise le scénario observé en Afrique de l'Ouest où les arbres exploitables ont pratiquement disparu,

au point que certains industriels de Côte d'Ivoire importent désormais du sapelli du Congo (Louppe et Ouattara, 2013). Par ailleurs, certains groupes industriels préfèrent transporter des produits bruts ou faiblement transformés d'Afrique centrale vers l'Afrique de l'Ouest où se trouvent des unités de transformation développées avec un personnel formé. En l'absence de mesures spécifiques de gestion concernant *E. utile*, Sépulchre *et al.* (2008) estiment que l'espèce est menacée, malgré une assez bonne structure des populations en vertu d'une régénération naturelle efficiente. L'intérêt commercial pour son bois d'œuvre a entraîné l'extraction des individus de grande taille les mieux conformés des forêts de Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Cameroun, RCA et Ouganda. Si bien qu'en Ouganda, par exemple, l'espèce est au bord de l'extinction (Mujuni, 2008). *E. angolense* risque également de subir dans un avenir proche une érosion

génétique. L'espèce est considérée comme menacée au Ghana et en Ouganda (Tchinda, 2008) et est proche de l'extinction au Kenya (Fischer *et al.*, 2010). *E. candollei*, dont le bois est un peu moins prisé, est néanmoins exploitée dans de nombreuses régions probablement sur des bases peu ou non durables (Nyunai, 2008). Les données présentées ci-avant datent de près d'une décennie. Depuis, du fait de nombreuses modifications d'habitat, de pressions croissantes sur ces espèces, de l'importance de l'exploitation artisanale très peu contrôlée, et en raison de l'application insuffisante de la réglementation et des mesures de gestion durable, la situation s'est probablement détériorée. Il est donc urgent de réévaluer, dans chacun des pays, la vulnérabilité de chacune des espèces de *Entandrophragma* afin de préconiser des mesures de gestion appropriées.

Écrémage et gestion des populations d'arbres

En l'absence de plans d'aménagement, l'exploitation commerciale sélective a conduit à une surexploitation de certaines essences de valeur, notamment les bois rouges comme l'acajou, le sipo, le sapelli ou des bois plus clairs comme l'okoumé, ainsi qu'à une faible exploitation des nombreuses autres (Karsenty, 2004). Cette extraction sélective, couplée à la faiblesse de la régénération, aux faibles vitesses de croissance, à une maturité tardive des semenciers ainsi qu'à la médiocre dispersion des graines, entraîne une érosion génétique chez certaines espèces de *Entandrophragma* qui menace la qualité des populations, au moins dans certains pays (Lemmens *et al.*, 2010). Dans le cas précis de *E. cylindricum*, Lourmas *et al.* (2007) ont montré que la réduction du nombre de semenciers, suite à l'exploitation, entraîne davantage un déficit de régénération qu'un problème de diversité génétique. Ce déficit en tiges d'avenir compromet la pérennité de l'exploitation si aucune gestion spécifique n'est appliquée (Sépulchre *et al.*, 2008). Émettre des restrictions sur l'abattage, comme par exemple relever les diamètres minimums de coupe afin de conserver des semenciers et apporter une assistance à la régénération, compte parmi les mesures de remédiation préconisées (Owona Ndongo, 2006 ; Lourmas *et al.*, 2007 ; Sépulchre *et al.*, 2008 ; Doucet *et al.*, 2016). Dans ce contexte, il conviendrait : de réaliser des études écologiques sur la régénération des *Entandrophragma* comparant des forêts exploitées récemment à des forêts non exploitées ou exploitées anciennement, afin de mieux comprendre les processus de reproduction ; de poursuivre les études de la phénologie de la floraison et de la fructification, ou de la dispersion du pollen et des graines, réalisées par Lourmas *et al.* (2007), puis Monthe *et al.* (2017) ; de préciser les conditions écologiques déterminant l'installation des plantules, leur survie et leur croissance ainsi que les risques biotiques et abiotiques qui pèsent sur elles.



Photo 4.
Tige de *Entandrophragma angolense* dans la Réserve de biosphère de Yangambi.
Photo M. Devriendt.

Politique, législation et réglementation en matière de gestion durable

Catégorisation et mise en œuvre de dispositifs de gestion durable

La déclinaison opérationnelle en dispositifs de gestion durable des forêts tropicales se concentre sur un nombre relativement restreint de catégories. En majorité, ces dispositifs visent soit à améliorer l'exploitation forestière tant industrielle qu'artisanale (aménagement forestier, exploitation à faible impact, certification forestière, reboisement), soit à valoriser le stockage de carbone (Mécanisme de développement propre – MDP/Forestier, REDD, etc.), soit enfin à accroître l'implication des populations locales dans la gestion et l'utilisation des forêts selon une gestion participative, une gestion communautaire, etc. (Leroy *et al.*, 2011). Actuellement, ces trois catégories tendent à se superposer. La mise en œuvre de ces outils ou instruments de régulation renforcerait la gestion durable des essences forestières. Quelques outils de gestion concernant l'amélioration de

l'aménagement forestier (modes d'exploitation forestière artisanale et industrielle) et l'accroissement des stocks de bois et de carbone (politique de reboisement) des *Entandrophragma* sont développés dans la section suivante.

Mise en œuvre effective des plans d'aménagement forestier

Approche sectorielle élargie à la valorisation de stocks de bois et de carbone

En Afrique centrale, les études pour la mise en œuvre de plans d'aménagement forestier (PAF) se sont développées dans les années 1990 (Marien et Mallet, 2004). En théorie, les PAF évaluent les potentialités de la ressource, prennent en compte les compromis entre les aspects écologiques, économiques et sociaux, et proposent des solutions équilibrées (Cerutti *et al.*, 2017). En pratique, l'aménagement forestier doit assurer la conservation des ressources ainsi que le bien-être des populations, et la sylviculture doit fournir les solutions techniques (Dupuy, 1998). Par ailleurs, un PAF est aussi une opportunité pour réduire les émissions de carbone de la forêt tout en présentant aux entreprises forestières des compromis financiers acceptables (Cerutti *et al.*, 2017).

Une attention soutenue à quelques règles et actions spécifiques

Pour ne pas compromettre la régénération et favoriser la dynamique de la forêt exploitée, Fargeot *et al.* (2004) proposent que deux instruments ou outils de gestion soient privilégiés : la durée de la rotation, qui s'appuie notamment sur des considérations économiques et autoécologiques, et la détermination de diamètres minimums d'exploitabilité qui prennent en compte, au moins idéalement, les impératifs écologiques et techniques. En plus des techniques d'exploitation forestière à impact réduit, ces deux instruments de gestion sont à appliquer lors de la mise en œuvre effective des PAF. Selon Karsenty (2004), l'absence de règles de gestion peut poser un problème sérieux pour le renouvellement de la ressource dans les concessions non aménagées mais aussi, et sans doute surtout, dans les forêts faisant l'objet d'exploitations artisanales informelles. Ainsi, le renouvellement des espèces commerciales de *Entandrophragma* surexploitées devra passer par l'élaboration, la validation et la mise en œuvre des PAF et leur respect. L'aménagement forestier durable s'inscrit aussi dans l'optique de la certification d'une bonne gestion forestière (FSC, Programme africain de certification forestière, PAFC, etc.) ou des certifications du respect de la légalité (Origine et légalité des bois, OLB, *Timber Legality & Traceability Verification*, TLTV, *Verification of Legal Origin/Compliance*, VLO/VLC, etc.) (Karsenty et Ferron, 2017). Pour ce faire, Bayol *et al.* (2012) suggèrent le renforcement des capacités des institutions de contrôle forestier dans un État de droit renforcé par la stricte application des lois, là où les concessions forestières ne sont pas aménagées ou tardent à utiliser les outils de gestion évoqués précédemment.



Photo 5.
Tige de *Entandrophragma utile* dans la Réserve
de biosphère de Yangambi.
Photo M. Devriendt.

Révision des diamètres minimums d'exploitation

Les diamètres minimums d'exploitation (DME), seuil légal à partir duquel un arbre peut légalement être abattu, des espèces de *Entandrophragma* varient d'un pays à l'autre (tableau VI). La Côte d'Ivoire, où les espèces de *Entandrophragma* ont été surexploitées depuis les années 1960, avait fixé le DME au niveau le plus bas, c'est-à-dire 60 cm. À l'opposé, le Ghana a fixé le DME de toutes les espèces de *Entandrophragma* au niveau le plus élevé, soit 110 cm. Le Ghana, le Cameroun et le Liberia ont augmenté le DME du sapelli (respectivement à 110 cm, 100 cm et 90 cm) dans le but d'améliorer le taux de reconstitution de la ressource. Le DME du kosipo a été fixé à 80 cm par tous les pays exportateurs d'Afrique centrale.

Le diamètre de fructification régulière (DFR), seuil à partir duquel on assiste à une fructification efficace et régulière, est l'un des paramètres importants à prendre en compte pour assurer la durabilité de l'exploitation. La comparaison DFR-DME (tableau VI) permet d'évaluer le risque de raréfaction des arbres semenciers et la qualité de la régénération. Pour éviter une trop forte diminution du nombre des semenciers, il convient de veiller à ce que les DME soient nettement supérieurs aux diamètres de fructification régulière (Durrieu de

Madron *et al.*, 2004 ; Sépulchre *et al.*, 2008 ; Tchinda, 2008 ; Mujuni, 2008 ; Kémeuzé, 2008 ; Nyunaï, 2008 ; Daïnou et Doucet, 2010). Puisque la récolte future est fonction des effectifs des classes de diamètre inférieures aux DME, de l'accroissement, des dégâts d'exploitation et de la mortalité (Durrieu de Madron et Forni, 1997), il s'avère important de revoir la réglementation en matière de DME des *Entandrophragma* en officialisant l'augmentation des DME dans l'ensemble des pays producteurs africains. Fargeot *et al.* (2004) montrent qu'à durée égale de rotation une simple augmentation du DME oblige à conserver sur pied des arbres plus gros et permet d'augmenter la production ligneuse exploitable de la forêt. Cette obligation réglementaire devrait s'appliquer à tous les concessionnaires forestiers, y compris ceux qui ne disposent pas encore des PAF et qui ne devraient pas, par conséquent, être autorisés à exploiter. Dans le cadre d'une volonté d'aménagement durable, les États devraient annuler les contrats des concessionnaires toujours sans PAF après les trois années de la convention provisoire qui leur ont été accordées pour produire le PAF.

Réglementation de l'exploitation artisanale et informelle

Dans le bassin du Congo, le marché intérieur du bois est en forte croissance en quantité, mais le faible pouvoir d'achat de la population et l'absence d'exigence des clients quant à la gestion des ressources font que ce marché s'oriente presque systématiquement vers une filière informelle ou illégale (Bayol *et al.*, 2014). Ainsi, la production de grumes du secteur informel peut même dépasser celle du secteur formel (Bayol *et al.*, 2012). Les études récentes réalisées au Cameroun, au Gabon, en RC, en RCA et en RDC par Lescuyer *et al.* (2012) attestent que le marché domestique du bois provenant du sciage artisanal, souvent informel, a atteint une production annuelle globale d'environ 1,25 million de m³ de produits transformés, supérieure à celle du secteur industriel contrôlé. Elles montrent que les exploitants artisanaux considèrent les *Entandrophragma*, et quelques autres espèces – *Khaya anthotheca* (Welw.) C. DC., *Pericopsis elata* (Harms) Meeuwen, *Pterocarpus soyauxii* Taub., *Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg. – comme des bois nobles, et les ciblent spécifiquement (Tshimpanga *et al.*, 2016). Pour sécuriser l'exploitation artisanale, accroître sa contribution à l'économie nationale et contrôler ses impacts environnementaux, Tiayon et Molnar (2012) recommandent un meilleur contrôle et une formalisation du secteur du sciage artisanal.

Nécessité de renforcer la politique et les actions de reboisement

L'Afrique centrale a commencé à étudier les possibilités d'enrichissement du patrimoine forestier par plantation dès 1934 en créant des arboretums à Mbuku Nsitu, dans le massif du Mayombe (Congo), à Sibang, aux portes de Libreville (Gabon), et sur d'autres sites tels Mbalmayo (Cameroun) et Yangambi (RDC) (Marien et Mallet, 2004). Ont ensuite été mis en place des programmes étatiques de plantations d'enrichissement d'espèces à haute valeur commerciale (sipo,



Photo 6. Mesure de la circonférence au-dessus des empattements d'une tige de *Entandrophragma cylindricum*.
Photo M. Devriendt.

Tableau VI.

Diamètre minimum de fructification (DMF), diamètre de fructification régulière (DFR) et diamètre minimum d'exploitation (DME) des essences de *Entandrophragma*. RC : République du Congo ; Cam : Cameroun ; RDC : République démocratique du Congo ; RCA : République centrafricaine ; CI : Côte d'ivoire.
 (Source: Kasongo Yakusu *et al.*, 2018.)

Essence	Nom scientifique	DMF (cm)	DFR (cm)	DME (cm)	Pays	Références
Kosipo	<i>Entandrophragma candollei</i>	40		80	RCA	Yalibanda, 1999
			85	70	Ouganda	Plumptre, 1995
				110	Ghana	Nyunaï, 2008
				90	Libéria	
				60	CI	
				80	Gabon	
					RC	
					Cam	
Sapelli	<i>Entandrophragma cylindricum</i>		75	80	RCA	Durrieu de Madron et Daumeurie, 2004
			85		Ouganda	Plumptre, 1995
		35		80	RCA	Petrucci <i>et al.</i> , 1995
		55		80	RCA	Yalibanda, 1999
		40	55	90	Gabon	Sépulchre <i>et al.</i> , 2008
				60	CI	Palla <i>et al.</i> , 2002
				110	Ghana	
				90	Libéria	
				80	RC	
				100	Cam	
				80	RDC	
Sipo	<i>Entandrophragma utile</i>		85	90	Gabon	Sépulchre <i>et al.</i> , 2008
				110	Ghana	Mujuni, 2008
				100	Cam	
				90	Liberia	
				60	CI	
				80	RC	
				80	RDC	
				80	RCA	
Tiama	<i>Entandrophragma angolense</i>	55		80	RCA	Petrucci <i>et al.</i> , 1995
		50		80	RCA	Yalibanda, 1999
			85		Ouganda	Plumptre, 1995
				110	Ghana	Tchinda, 2008
				90	Liberia	
				60	CI	
				80	Gabon	
				80	RC	
		80	Cam			
		80	RDC			

- : pas d'information.

sapelli, etc.) dans des layons en forêt naturelle exploitée au nord du Congo, au Cameroun, et à Yangambi en RDC. Ces programmes ont été abandonnés assez rapidement pour être par exemple remplacés par des plantations d'espèces exotiques ou d'okoumé. À une échelle plus modeste, par exemple, certains paysans de l'ouest du Cameroun plantent dans leurs haies le kosipo, considéré comme espèce de forêt naturelle productrice de bois d'œuvre à longue révolution (Temgoua *et al.*, 2011).

En Côte d'Ivoire, lorsque le rythme de déboisement a atteint 600 000 hectares par an durant la décennie 1960-1970, le pays s'est tourné vers les reboisements en plein (Alexandre, 1982) alors que les programmes d'enrichissement des forêts naturelles avaient déjà été abandonnés. Le défaut de connaissances sur la régénération naturelle évoqué par Catinot (1965, 2018), lesquelles sont encore mal maîtrisées à ce jour (Doucet *et al.*, 2016), est l'un des obstacles aux techniques extensives de renouvellement et d'enrichissement du capital forestier naturel.



Photo 7.
Base d'une tige de *Entandrophragma angolense*
dans la Réserve de biosphère de Yangambi.
Photo M. Devriendt.

En matière de plantations forestières, le renforcement des politiques de reboisement devra tenir compte des causes d'échec multiples identifiées par Marien et Gourlet-Fleury (2014) : des analyses stratégiques préalables insuffisantes ou erronées, des itinéraires techniques approximatifs ou non adaptés, une mauvaise appréciation des enjeux sociaux, une non-résolution des prérequis fonciers (problème de sécurité à long terme du foncier, pression pour d'autres usages, spéculation immobilière ou agricole), de mauvais calculs économiques, des impacts environnementaux insuffisamment documentés, ou des financements insuffisants dans la durée. En effet, pour limiter la raréfaction des espèces surexploitées, les pays d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique centrale n'ont pas les moyens suffisants pour des investissements sur des plantations à grande échelle susceptibles de produire des arbres exploitables à l'horizon de plusieurs décennies. Le développement des systèmes agroforestiers associant la production de cacao ou de café permettrait d'assurer des revenus annuels et des revenus ponctuels plus espacés dans le temps grâce à l'exploitation du bois d'œuvre.

Conclusion et perspectives de recherche

Cette revue de la littérature sur les enjeux et l'amélioration de la gestion du genre *Entandrophragma* en forêt naturelle montre que ce taxon présente un fort intérêt économique qui fait de lui un genre surexploité. Ayant débuté en Afrique de l'Ouest, cette surexploitation, conduite de manière industrielle et artisanale, se concentre aujourd'hui en Afrique centrale. Une régénération naturelle limitée, une vitesse de croissance moyenne ou faible, le non-respect des techniques d'exploitation à faible impact et surtout l'absence de plans d'aménagement forestier ou leur mise en œuvre partielle et/ou non contrôlée, l'extraction sélective et intensive, sont autant de menaces qui pèsent sur les populations naturelles des espèces du genre *Entandrophragma*. Ces menaces induisent aussi une érosion génétique, plus ou moins forte selon les régions. La multiplicité des usages qu'offrent ces espèces constitue un foyer potentiel de conflits entre acteurs, populations et industriels. Si les gestionnaires forestiers n'impliquent pas les populations locales selon une gestion inclusive et ne respectent pas leurs droits sociaux de base et droits d'usages forestiers, relatifs par exemple à la pharmacopée et la collecte de chénilles, des PAF viables ne sont pas possibles.

Par ailleurs, les impacts environnementaux causés par l'écroulement des populations de *Entandrophragma* demeurent peu documentés concernant l'usage industriel, et presque ignorés concernant l'usage artisanal. Cet état des choses amplifie la remise en question de la durabilité de ces ressources forestières. En effet, les outils de gestion susceptibles d'atténuer cette situation doivent être analysés dans une vision globale et interactive en vue de garantir leur durabilité. Il s'agit : de la réglementation et/ou de l'amélioration de l'exploitation industrielle et artisanale, s'agissant par exemple de la réglementation sur les DME et du contrôle effectif du secteur artisanal ; de la valorisation

du stockage de carbone par le reboisement ; de l'amélioration de l'implication des populations locales en privilégiant la gestion inclusive dans la valorisation de la pharmacopée traditionnelle, la collecte des chenilles, la politique et les actions de reboisement, etc. Les études scientifiques qui permettraient de renforcer les orientations et les mesures de gestion des essences commerciales de *Entandrophragma* demeurent encore fragmentaires et ne couvrent pas toute l'aire de répartition du genre. À titre d'exemple, en RDC, où l'on retrouve la plus grande diversité d'espèces de *Entandrophragma* et où les principales espèces sont exploitées industriellement et artisanalement, très peu d'études scientifiques récentes ont été entreprises. Plusieurs thématiques devraient faire l'objet d'études approfondies afin d'améliorer la gestion durable de ces espèces et d'actualiser leur statut de conservation, actuellement reconnus comme étant à l'état vulnérable, en fonction de leurs zones géographiques. Pour y parvenir, il y a notamment nécessité d'améliorer les connaissances sur :

- l'analyse des cernes de croissance, en vue de mesurer le rythme de croissance, notamment face aux évolutions climatiques, par l'analyse de la relation largeur des cernes-pluviométrie ;
- l'étude des isotopes stables de l'oxygène ($\delta^{18}O$) en vue de retracer le climat passé ;
- l'analyse de la croissance en diamètre par des mesures basées sur des effectifs plus importants répartis sur l'ensemble de l'aire de répartition ;
- les propriétés anatomiques et technologiques, afin de justifier des actions prioritaires de gestion durable tels le reboisement, l'intégration dans la sylviculture et le contrôle du commerce du bois illégal ;
- la mise à jour de la distribution géographique de chaque principale espèce commerciale ;
- les processus impliqués dans la régénération naturelle des espèces, notamment dans les zones exploitées ;
- les processus de reproduction (phénologie de la floraison et de la fructification, dispersion du pollen et des graines) ;
- les impacts des activités humaines (exploitation industrielle et artisanale) et environnementales tels que les changements climatiques ;
- l'évaluation ou l'évolution des stocks de production, en biomasse et en carbone ;
- l'homogénéisation des politiques forestières au sein des pays producteurs de bois précieux de *Entandrophragma* visant à améliorer leur gestion durable.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Union européenne pour l'assistance financière à cette étude via le projet Forêt et Changement climatique au Congo mis en œuvre par le Cifor à l'Université de Kisangani, et le Musée royal de l'Afrique centrale pour la bourse de stage scientifique « ABIC » (2016, 2017, 2018) en Belgique (financée par la Direction générale de la Coopération au Développement et à l'Aide humanitaire de la Belgique). Ils remercient aussi les relecteurs pour leurs contributions à l'amélioration de la version finale de cet article, et tous ceux qui ont apporté une assistance à la recherche et à la compilation des informations liées à cette publication.

Références bibliographiques

- Adler D., 1989. Natural forest increment, growth and yield. In: Wong J. L. G. (ed.). Ghana forest inventory project seminar proceedings. London, United Kingdom, Overseas Development Administration, Accra, Ghana, Forestry Department, 47-52.
- Alexandre D.-Y., 1982. Aspects de la régénération naturelle en forêt dense de Côte-d'Ivoire. *Candollea*, 37 : 579-588. <https://core.ac.uk/download/pdf/39875069.pdf>
- ATIBT (Association technique internationale des bois tropicaux), 1986. Atlas des bois tropicaux. Tome I. Afrique. Paris, France, ATIBT, 240 p.
- Bayol N., Anquetil F., Bile C., Bollen A., Bousquet M., Castadot B., et al., 2014. Filière bois d'œuvre et gestion des forêts naturelles : les bois tropicaux et les forêts d'Afrique centrale face aux évolutions des marchés. In : De Wasseige C., Flynn J., Louppe D., Hiol Hiol F., Mayaux Ph. (éds). Les forêts du bassin du Congo – État des forêts 2013. Neufchâteau, Belgique, Weyrich, 47-66.
- Bayol N., Demarquez B., De Wasseige C., Eba'a R., Fisher J.-F., Nasi R., et al., 2012. La gestion des forêts et la filière bois en Afrique Centrale. In : De Wasseige C., de Marcken P., Bayol N., Hiol Hiol F., Mayaux P., Desclée B., et al. (éds). Les forêts du bassin du Congo – État des forêts 2010. Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne, 41-61.
- Beeckman H., 2016. Wood anatomy and trait-based ecology. *IAWA Journal*, 37 (2): 127-151. <https://doi.org/10.1163/22941932-20160127>
- Brazier J. D., Franklin G. L., 1961. Identification of hardwoods. A microscope key. *Forest Products Research Bulletin*, 46, 96 p.
- Catinot R., 1965. Sylviculture tropicale en forêt dense africaine. *Bois et Forêts des Tropiques*, 100 : 5-18. <https://doi.org/10.19182/bft1965.100.a18965>
- Catinot R., 2018. Tropical silviculture in dense African forest (Part 1). *Bois et Forêts des Tropiques*, 336 : 7-18. <https://doi.org/10.19182/bft2018.336.a31602>
- Cerutti P. O., Suryadarma D., Nasi R., Forni E., Medjibe V., Delione S., et al., 2017. The impact of forest management plans on trees and carbon: Modeling a decade of harvesting data in Cameroon. *Journal of Forest Economics*, 27: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2017.01.004>
- CFT (Compagnie forestière de transformation), 2015. Plan d'aménagement forestier. Superficie sous aménagement. Concessions 46/11 et 47/11. Kinshasa, République démocratique du Congo, CFT.
- Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement), 2015. Les principales caractéristiques technologiques de 245 essences forestières tropicales. Tropix 7.5.1.
- CITES (Convention pour le commerce international des espèces de faune et flore sauvages menacées d'extinction), 1983. Texte de convention. Version amendée à Gaborone. <https://cites.org/fra/disc/text.php> (consulté le 31/05/2017).
- Couralet C., Sterck F. J., Sass-Klaassen U., Van Acker J., Beeckman H., 2010. Species-specific growth responses to climate variations in understory trees of a Central African rain forest. *Biotropica*, 42: 503-511. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00613.x>
- Dahms K.-G., 1999. *Afrikanische Exporthölzer*. 3. Auflage. Leinfelden-Echterdingen, Deutschland, DRW-Verlag, 358 p.
- Daïnou K., Doucet J.-L., 2010. Évaluation de l'aménagement et de l'état des populations des essences exploitées par le Groupe SEFAC. Wavre, Belgique, Nature +.

- Daïnou K., Bracke C., Vermeulen C., Haurez B., De Vleeschouwer J.-Y., Fayolle A., *et al.*, 2016. Hautes Valeurs de Conservation (HVC) dans les Unités Forestières d'Aménagement du Cameroun : concepts, choix et pratiques. Gembloux, Belgique, Presses agronomiques de Gembloux. <http://hdl.handle.net/2268/201957>
- Dauby G., Zaiss R., Blach-Overgaard A., Catarino L., Damen T., *et al.*, 2016. RAINBIO: a mega-database of tropical African vascular plants distributions. *PhytoKeys*, 74: 1-18. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.74.9723>
- Détienne P., Mariaux A., 1977. Nature et périodicité des cernes dans les bois rouges de Méliacées africaines. *Bois et Forêts des Tropiques*, 175 : 29-37. <https://doi.org/10.19182/bft1975.159.a19269>
- Détienne P., Oyono F., Durrieu L., Demarquez B., Nasi R., 1998. L'analyse des cernes : applications aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêt dense africaine. Montpellier, France, Cirad-Forêt.
- Dibong S. D., Mpondo E., Ngoye A., Kwin M. F., 2011. Plantes médicinales utilisées par les populations Bassa de la région de Douala au Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5: 1105-1117. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i3.72227>
- Doucet J.-L., Kouadio Y. L., 2007. Le moabi, une espèce « phare » de l'exploitation forestière en Afrique centrale. *Parcs Réserves*, 62 (2) : 25-31. <http://hdl.handle.net/2268/22385>
- Doucet J.-L., Daïnou K., Ligot G., Ouédraogo D.-Y., Bourland N., Ward S.-E., *et al.*, 2016. Enrichment of Central African logged forests with high-value tree species: testing a new approach to regenerating degraded forests. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 12 (1-2): 83-95. <https://doi.org/10.1080/21513732.2016.1168868>
- Doumenge C., Coppens G., Chevallier M.-H., Todou G., Niangadouma R., Fauvet N., Chevillotte H., 2010. Évaluation des niches climatiques de quatre espèces d'*Entandrophragma* (Meliaceae) d'Afrique occidentale et centrale. Implications évolutives et paléoclimatiques. *In* : Jeannoda V. H., Razafimandimbison S. G., De Block P. (éds). XIX^e Congrès de l'AETFAT, 25-30 avril 2010, Antananarivo, Madagascar. Résumés. *Scripta Botanica Belgica*, 46 : 153.
- Dupuy B., 1998. Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine. Montpellier, France, Cirad-Forêt, 329 p. <http://agritrop.cirad.fr/315216/>
- Durrieu de Madron L., Daumerie A., 2004. Diamètre de fructification de quelques essences en forêt naturelle centrafricaine. *Bois et Forêts des Tropiques*, 281 : 87-95. <https://doi.org/10.19182/bft2004.281.a20230>
- Durrieu de Madron L., Forni E., 1997. Aménagement forestier dans l'est du Cameroun : Structure du peuplement et périodicité d'exploitation. *Bois et Forêts des Tropiques*, 254 : 39-50. <https://doi.org/10.19182/bft1997.254.a19897>
- Durrieu de Madron L., Nasi R., Détienne P., 2000. Accroissements diamétriques de quelques essences en forêt dense africaine. *Bois et Forêts des Tropiques*, 263 : 63-73. <https://doi.org/10.19182/bft2000.263.a20062>
- Eckebil P. P. T., Verheggen F., Doucet J.-L., Malaisse F., Daïnou K., Cerutti P. O., *et al.*, 2017. *Entandrophragma cylindricum* (Sprague) Sprague (Meliaceae), une espèce ligneuse concurrentielle en Afrique centrale (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 21 : 80-97. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=13508>
- Fargeot C., Forni E., Nasi R., 2004. Réflexions sur l'aménagement des forêts de production dans le bassin du Congo. *Bois et Forêts des Tropiques*, 281 : 19-34. <https://doi.org/10.19182/bft2004.281.a20223>
- Fétéké F., Fayolle A., Daïnou K., Bourland N., Dié A., Lejeune P., *et al.*, 2016. Variations saisonnières de la croissance diamétrique et des phénologies foliaire et reproductive de trois espèces ligneuses commerciales d'Afrique centrale. *Bois et Forêts des Tropiques*, 330 : 3-21. <https://doi.org/10.19182/bft2016.330.a31315>
- Fétéké F., Perin J., Fayolle A., Daïnou K., Bourland N., Kouadio Y.-L., *et al.*, 2015. Modéliser la croissance de quatre essences pour améliorer la gestion forestière au Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*, 325 : 5-20. <https://doi.org/10.19182/bft2015.325.a31269>
- Fischer E., Rembold K., Althof A., Obholzer J., Malombe I., Mwachala G., *et al.*, 2010. Annotated checklist of the vascular plants of Kakamega Forest, Western Province, Kenya. *Journal of East African Natural History*, 99 (2): 129-226. <https://doi.org/10.2982/028.099.0205>
- Geist H., Lambin E., 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52 (2): 143-150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:CAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:CAUDF]2.0.CO;2)
- Gérard J., 1999. Comportement et caractéristiques technologiques des bois de forêt naturelle : évolution des méthodes d'étude en relation avec l'adéquation qualité-usages. *In* : Nasi R., Amsallem I., Drouineau S. (éds). *La gestion des forêts denses africaines aujourd'hui*. Actes du séminaire Forafri de Libreville, Gabon, 12-16 octobre 1998, Cirad-Forêt, Cifor, Forafri. Montpellier, France, Cirad-Forêt. <http://agritrop.cirad.fr/392132/>
- Gérard J., Edi Kouassi A., Daigremont C., Détienne P., Fouquet D., Vernay M., 1998. Synthèse sur les caractéristiques technologiques de référence des principaux bois commerciaux africains. Montpellier, France, Cirad-Forêt, Série Forafri, 11, 185 p. <https://agritrop.cirad.fr/315469/>
- Gérard J., Guibal D., Paradis S., Cerre J.-C., 2016. Atlas des bois tropicaux. Versailles, France, Éditions Quæ, coll. Guide pratique, 999 p.
- Gillet J.-F., Ngalouo B., Missamba-Lola A. P., 2008. Rapport d'analyse - volet dynamique forestière. Projet CIB FFEM « Suivi du programme dynamique forestière - agroforesterie - inventaires faunes ». Ministère de l'Économie forestière, République du Congo.
- Gillet P., Vermeulen C., Feintrenie L., Dessard H., Gracia M., 2016. Quelles sont les causes de la déforestation dans le bassin du Congo ? Synthèse bibliographique et études de cas. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 20 (2) : 183-194.
- Guibal D., Langbour P., Gérard J., 2015. Propriétés physiques et mécaniques des bois. *In* : Mille G., Louppe D. (éds). *Mémento du forestier tropical*. Versailles, France, Éditions Quæ, 873-884.
- Hall J. S., 2008. Seed and seedling survival of African mahogany (*Entandrophragma* spp.) in the Central African Republic: Implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, 255: 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.050>
- IAWA (International Association of Wood Anatomists) Committee, 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin, new series* (4th printing, 2007), 10: 219-332.
- ITTO (International Tropical Timber Organization), 2017. Tropical Timber Market (TTM) Report. ITTO Market Information Service (MIS), volume 21, number 23, 1st-15th December 2017.
- Jagoret P., Kwesseu J., Messie C. A., Michel I., Malézieux E., 2014. Valeurs d'usage des ligneux utilisés en agroforesterie : les cacaoyères du Centre-Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*, 321: 45-54. <https://doi.org/10.19182/bft2014.321.a31217>

- Karsenty A., 2004. Enjeux des réformes récentes de la fiscalité forestière dans le bassin du Congo. Bois et Forêts des Tropiques, 281 : 51-60. <https://doi.org/10.19182/bft2004.281.a20227>
- Karsenty A., Ferron C., 2017. Recent evolutions of forest concessions status and dynamics in Central Africa. International Forestry Review, 19, S2. <https://doi.org/10.1505/146554817822295957>
- Karsenty A., Ongolo S., 2012. Les terres agricoles et les forêts dans la mondialisation : de la tentation de l'accaparement à la diversification des modèles ? In : Agriculture et alimentation : des champs géopolitiques de confrontation au XXI^e siècle. Cahier Demeter, 13 : 99-108. <http://agritrop.cirad.fr/563526/>
- Karsenty A., Vermeulen C., 2016. Vers des Concessions 2.0 - Articuler gestion inclusive et exclusive dans les forêts de production en Afrique centrale. In : Buttoud G., Nguinguiri J. C., Aubert S., Bakouma J., Karsenty A., Kouplevatskaya-Buttoud I., Lescuyer G. (éds). La gestion inclusive des forêts d'Afrique centrale : de la participation au partage des pouvoirs. Libreville, Gabon, FAO, Cifor, 205-223. <http://hdl.handle.net/2268/198501>
- Kasongo Yakusu E., Monthe F. S., Bourland N., Hardy O. J., Louppe D., Bola Mbele Lokanda F., et al., 2018. Le genre *Entandrophragma* (Meliaceae) : taxonomie et écologie d'arbres africains d'intérêt économique (synthèse bibliographique). Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 22 (2). <https://popups.uliege.be/443/1780-4507/index.php?id=16353>.
- Kémeuzé V. A., 2008. *Entandrophragma cylindricum* (Sprague) Sprague. In : Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (éds). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Bois d'œuvre 1. Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1. 2008. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA, 268-273. <https://www.prota4u.org/database/Entandrophragmacylindricum> (consulté le 17/06/2016). <http://edepot.wur.nl/417632>
- Lebacqz L., Istas J. R., 1950. Les bois des Méliacées du Congo Belge. Volume 2. Tervuren, Belgique, Annales du Musée du Congo Belge, 127 p.
- Lemmens R. H. M. J., 2008. *Entandrophragma excelsum* (Dawe & Sprague) Sprague. In : Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (éds). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Bois d'œuvre 1. Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1. 2008. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA, 273-280. <http://edepot.wur.nl/417632>
- Lemmens R. H. M. J., Omino E. A., Bosch C. H., et al., 2010. Bois d'œuvre de l'Afrique tropicale. Conclusions et recommandations basées sur PROTA 7 (1) : Bois d'œuvre 1. Traduction de : Timbers of Tropical Africa. Conclusions and recommendations based on PROTA 7 (1): Timbers 1. 2009. Nairobi, Kenya, Fondation PROTA, 92 p.
- Leroy M., Vendé J., Aubert P. M., Espinosa L., Leménager T., 2011. Concept et dispositifs de gestion durable des forêts tropicales : une analyse critique de la prise en charge des enjeux environnementaux. Actes du colloque SIFFE, Yaoundé, Cameroun. http://www.siffee.org/static/uploaded/Files/ressources/actes-des-colloques/yaounde/pleniere-2-2/2_LEROY_DERROIRE_TXT.pdf (consulté le 05/12/2017).
- Lescuyer G., Cerutti P. O., Essiane E., Ebaa R., Nasi R., 2012. Évaluation du secteur du sciage artisanal dans le bassin du Congo. In : De Wasseige C., de Marcken P., Bayol N., Hiol Hiol F., Mayaux P., Desclée B., Nasi R., et al. (éds). Les forêts du bassin du Congo – État des forêts 2010. Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne.
- Lisingo J., Lokinda F., Wetsi J.-L., Ntahobavuka H., 2012. Exploitation artisanale du bois et des chenilles comestibles par les habitants de la ville de Kisangani et ses environs. In : Benneker C., Assumani D.-M., Maindo A., Bola F., Kimbuani G., Lescuyer G., et al. (éds). Le bois à l'ordre du jour. Exploitation artisanale de bois d'œuvre en RD Congo : Secteur porteur d'espoir pour le développement des petites et moyennes entreprises. Wageningen, Pays-Bas, Tropenbos International, 248-262.
- Louppe D., 2015. Anatomie des bois. In : Mille G., Louppe D. (éds). Mémento du forestier tropical. Versailles, France, Éditions Quæ, 859-867.
- Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (éds), 2008. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Bois d'œuvre 1. Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1. 2008. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA, 785 p.
- Louppe D., Ouatarra N., 2013. Étude sur l'exploitation forestière et les contraintes d'une gestion des forêts dans le domaine rural en Côte d'Ivoire. Abidjan, Côte d'Ivoire, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 216 p.
- Lourmas M., Kjellberg F., Dessard H., Joly H. I., Chevallier M. H., 2007. Reduced density due to logging and its consequences on mating system and pollen flow in the African mahogany *Entandrophragma cylindricum*. Heredity, 99: 151-160. <https://www.nature.com/articles/6800976>
- Marien J.-N., Gourlet-Fleury S., 2014. Les plantations forestières en Afrique centrale : des sylvicultures nouvelles pour répondre aux nouveaux besoins des sociétés. In : De Wasseige C., Flynn J., Louppe D., Hiol Hiol F., Mayaux Ph. (éds). Les forêts du bassin du Congo - État des forêts 2013. Neufchâteau, Belgique, Weyrich, 197-212. http://www.observatoire-comifac.net/docs/edf2013/FR/EDF2013_FR_chap8.pdf
- Marien J.-N., Mallet B., 2004. Nouvelles perspectives pour les plantations forestières en Afrique centrale. Bois et Forêts des Tropiques, 282 : 67-79. <https://doi.org/10.19182/bft2004.282.a20221>
- Mate J.-P., Lusuna M., Nshimba H., Ndjele L., 2013. Les essences forestières à charbon de bois aux environs de Kisangani. In : Marien J.-N., Dubiez E., Louppe D., Larzillière A. (éds). Quand la ville mange la forêt. Les défis du bois-énergie en Afrique centrale. Versailles, France, Éditions Quæ, 159-166.
- Meunier Q., Mombogou C., Doucet J.-L., 2015. Les arbres utiles du Gabon. Gembloux, Belgique, Presses agronomiques de Gembloux, 340 p. <http://hdl.handle.net/2268/183815>
- Monthe F. K., Duminil J., Kasongo Yakusu E., Beeckman H., Bourland N., et al., 2018. The African timber tree *Entandrophragma congoense* (Pierre ex De Wild.) A.Chev. is morphologically and genetically distinct from *Entandrophragma angolense* (Welw.) C.DC. Tree Genetics & Genomes, 14: 66. <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1277-6>
- Monthe F. K., Hardy O. J., Doucet J.-L., Loo J., Duminil J., 2017. Extensive seed and pollen dispersal and assortative mating in the rain forest tree *Entandrophragma cylindricum* (Meliaceae) inferred from indirect and direct analyses. Molecular Ecology, 26: 5279-5291. <https://doi.org/10.1111/mec.14241>
- Mujuni D. B., 2008. *Entandrophragma utile* (Dawe & Sprague) Sprague. In : Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (éds). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Bois d'œuvre 1. Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1. 2008. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA. <https://www.prota4u.org/database/Entandrophragmautile> (consulté le 17/06/2016).
- Nanson A., 2004. Génétique et amélioration des arbres forestiers. Gembloux, Belgique, Presses agronomiques de Gembloux, 712 p.

- Nyunai N., 2008. *Entandrophragma candollei* Harms. In : Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (éds). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Bois d'œuvre 1. Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1. 2008. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA. <https://www.prota4u.org/database/Entandrophragmacandollei> (consulté le 17/06/2016).
- Owona Ndong P.-A., 2006. Évaluation de la potentialité des plantations forestières au Centre-Sud Cameroun : Résultats des mesures effectuées dans l'arboretum de Mbalmayo et des enquêtes menées en périphérie de sa réserve. Mémoire de stage, Cirad, France.
- Onifade A. K., 2006. Effect of essential oils of some Meliaceae plants on aflatoxin production and growth of *Aspergillus parasiticus*. Journal of Food Technology, 4: 322-324. <http://medwell-journals.com/abstract/?doi=jftech.2006.322.324>
- Owona Ndong P.-A., Peltier R., Linjoum I., Louppe D., Smektala G., Beligné V., et al., 2009. Plantations de bois d'œuvre en zone équatoriale africaine : cas de l'arboretum de l'Enef de Mbalmayo au sud du Cameroun. Bois et Forêts des Tropiques, 299 : 37-48. <https://doi.org/10.19182/bft2009.299.a20421>
- Palla F., Louppe D., Forni E., 2002. Sapelli. Fiche technique, écologique et sylvicole. Montpellier, France, Cirad-Forêt.
- Petrucci Y., Tandeau de Marsac G., Morel P. J., 1995. Évolution du peuplement adulte et de la régénération acquise après interventions sylvicoles. Dispositif de recherche en forêt dense de Boukoko-La Lolé. Appui à la recherche forestière FAC/ARF. Bangui, République centrafricaine, Ministère des Eaux, Forêts, Chasse et Pêche, 55 p.
- Plumptre A. J., 1995. The importance of "seed trees" for the natural regeneration of selectively logged tropical forest. Commonwealth Forestry Review, 74: 253-258.
- Poorter L., Bongers F., Kouamé F. Y. N., Hawthorne W.-D., 2014. Biodiversity of West African Forests: An Ecological Atlas of Woody Plant Species. Wallingford, United Kingdom, CABI Publishing, 521 p. <https://www.jstor.org/stable/42608376>
- Sépulchre F., Daïnou K., Doucet J.-L., 2008. Étude de la vulnérabilité de 18 essences ligneuses commerciales d'Afrique centrale reprises sur la liste rouge UICN. Gembloux, Belgique, Université des Sciences agronomiques de Gembloux. https://www.atibt.org/wp-content/uploads/2017/06/Etude_vulnerabilite_Gembloux_2008.pdf
- Staner P., Gilbert G., 1958. Meliaceae. In : Robyns W., Staner P., Demaret F., Germain R., Gilbert G., et al. (éds). Flore du Congo Belge et du Rwanda-Urundi. Spermatophytes. Volume 7. Bruxelles, Belgique, Institut national pour l'étude agronomique du Congo belge (INEAC), 147-213.
- Tailfer Y., 1989. La forêt dense d'Afrique centrale. Identification pratique des principaux arbres. Tome I. Approche forestière et morphologique. Québec, Canada, Agence de coopération culturelle et technique, Wageningen, Pays-Bas, Centre technique de coopération agricole et rurale.
- Tchinda A. T., 2008. *Entandrophragma angolense* (Welw.) C.DC. In : Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (éds). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Bois d'œuvre 1. Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 7 (1). Timbers 1. 2008. Wageningen, Pays-Bas, Fondation PROTA. <https://www.prota4u.org/database/Entandrophragmaangolense> (consulté le 17/06/2016).
- Temgoua L., Njouka R., Peltier R., 2011. Plantations ingénieuses de bois d'œuvre par les paysans de l'Ouest-Cameroun. Bois et Forêts des Tropiques, 309 : 63-76. <https://doi.org/10.19182/bft2011.309.a20467>
- Tiayon F., Molnar A., 2012. Perspectives comparatives de l'exploitation artisanale du bois en RD Congo : évolution des politiques et des pratiques. In : Benneker C., Assumani D.-M., Maindo A., Bola F., Kimbuani G., Lescuyer G., et al. (éds). Le bois à l'ordre du jour. Exploitation artisanale de bois d'œuvre en RD Congo : secteur porteur d'espoir pour le développement des petites et moyennes entreprises. Wageningen, Pays-Bas, Tropenbos International, 133-135.
- Tieguhong J. C., Snook L., Taedoung H., Maukonen P., Tchatat M., Loo J., et al., 2017. Beyond timber: balancing demands for tree resources between concessionaires and villagers. International Forestry Review, 19 (S2): 14. https://www.biodiversityinternational.org/index.php?id=244&tx_news_pi1%5Bnews%5D=9554
- Tshimpanga P., Lescuyer G., Vleminckx J., Adebou B., Lokombe D., 2016. Utilité d'une typologie des exploitants artisanaux de bois pour contribuer à la formulation d'une politique publique en province Orientale (RD Congo). Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 20 : 468-481. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=13242>
- UICN (Union internationale pour la conservation de la nature), 2012. Catégories et Critères de la Liste rouge de l'UICN : Version 3.1. Deuxième édition. Gland, Suisse, Cambridge, Royaume-Uni, UICN, 32 p. Originellement publié en tant que IUCN Red List Categories and Criteria : Version 3.1. Second edition.
- Van der Sleen P., Groenendijk P., Zuidema P. A., 2015. Tree-ring $\delta^{18}O$ in African mahogany (*Entandrophragma utile*) records regional precipitation and can be used for climate reconstructions. Global and Planetary Change, 127: 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.01.014>
- Vermeulen C., Schippers C., Ntouné M. F. D., Bracke C., 2009. Enjeux méthodologiques autour des produits forestiers non ligneux dans le cadre de la certification en Afrique centrale. Bois et Forêts des Tropiques, 300 : 69-78. <https://doi.org/10.19182/bft2009.300.a20416>
- Wheeler E., Baas P., Gason P., 1989. IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification. IAWA Journal, 10 (3): 219-332. <https://doi.org/10.1002/fedr.19901011106>
- White F., 1986. La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique. Paris, France, Orstom et Unesco. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-06/24837.pdf
- White L., Gasson P., 2008. Mahogany. Kew, United Kingdom, Kew Publishing, 99 p.
- Yalibanda Y., 1999. Phénologie en forêt dense de Ngotto (Rca). Bilan de trois années d'observation. In : Nasi R., Amsallem I., Drouineau S. (éds). La gestion des forêts denses africaines aujourd'hui. Actes du séminaire Forafri de Libreville (Gabon), 12-16 octobre 1998. Montpellier, France, Cirad-Forêt, cédérom, 24 p. <http://agritrop.cirad.fr/392581/>

RÉSUMÉ DE THÈSE /
ACADEMIC THESIS ABSTRACT / RESUMEN DE TESIS ACADÉMICAStructuration de la biodiversité
des forêts africaines et changements
climatiques : une étude à travers
le genre *Khaya* (Meliaceae)

Ulrich Gaël BOUKA DIPELET

RÉSUMÉ

Des études paléocéologiques suggèrent que la composition floristique, la structure et la répartition actuelle des forêts denses africaines ont été fortement influencées par la mise en place de gradients écologiques, favorisant la spéciation parapatrique. De plus, lors des changements climatiques passés, certains « refuges forestiers » auraient été peu ou pas affectés par les variations climatiques, favorisant une spéciation allopatric des espèces forestières. En Afrique, les rôles respectifs de ces deux mécanismes sont encore peu étudiés.

Nous abordons cette problématique à travers le genre *Khaya* (Meliaceae, acajous d'Afrique), un genre modèle dont les espèces présentent des affinités écologiques variables, depuis les savanes arborées jusqu'aux forêts denses humides sempervirentes. La combinaison d'analyses génétiques et morphométriques a permis de mettre en évidence l'existence de plusieurs groupes distincts dans le complexe *K. anthotheca*, suggérant l'existence d'au moins cinq taxons différents. Trois de ces taxons présentent des distributions allopatriques ou parapatriques, et deux d'entre eux se retrouvent localement en sympatrie, dont un taxon nouveau pour la science. Ces taxons présentent des spécificités que l'on peut expliquer tant par des mécanismes de spéciation parapatrique qu'allopatric, en lien avec les gradients écologiques et les changements climatiques passés. À l'opposé, la présence de deux clusters génétiques de *K. ivorensis*, dus à un isolement par la distance, ne permet pas de séparer deux taxons mais suggère l'ébauche d'une spéciation qui n'est pas encore aboutie. Aussi, les populations des deux clusters partagent certains haplotypes chloroplastiques et mitochondriaux retraçant des histoires évolutives différentes pour chaque marqueur.

L'existence de plusieurs taxons au sein de *K. anthotheca* et la confirmation de *K. ivorensis* en tant que taxon unique et bien séparé ont conduit à la révision taxonomique du genre. La description des espèces du genre *Khaya* a été totalement refondue et une nouvelle clef de détermination est présentée. Ces nouvelles connaissances permettent d'éclairer l'histoire évolutive des acajous du genre *Khaya* et la structuration de la biodiversité des forêts africaines afin de poser les bases d'une stratégie de conservation et de gestion durable de ces essences très recherchées tant pour leur bois que pour des usages médicinaux.

Mots-clés : taxonomie, biodiversité, *Khaya*, *Khaya anthotheca*, *Khaya ivorensis*, Meliaceae, acajous d'Afrique, changements climatiques.

Climate change and the structure
of African forest biodiversity:
a study based on the distribution
of the *Khaya* genus (Meliaceae)

ABSTRACT

Palaeoecological studies suggest that the composition of plant communities in dense African forests, their structure and their current distribution have been strongly influenced by the establishment of ecological gradients that favour parapatric speciation. On the other hand, certain “refuge forests” seem to have been little affected, if at all, by past climatic variations, and this has favoured allopatric speciation of forest species. The respective roles of these two mechanisms in Africa have so far been little studied.

We address this question through the *Khaya* genus (Meliaceae, or African mahoganies), as a model genus that includes species with variable ecological affinities, from tree savannah to dense humid evergreen forests. The combination of genetic and morphometric analyses has shown several distinct groups within the *K. Anthotheca* complex, suggesting the existence of at least five different taxa. The distributions of three of these taxa are allopatric or parapatric. The other two, one previously unknown to science, are locally sympatric. These taxa have specific characteristics that can be accounted for by either parapatric or allopatric speciation associated with ecological gradients and past climatic changes. Conversely, the two genetic clusters of *K. ivorensis*, which were isolated by distance, cannot be separated into two taxa and instead suggest an incipient speciation process, as the populations of the two clusters have some chloroplastic and mitochondrial haplotypes in common through which different evolutionary histories can be traced for each marker.

With the identification of several *K. anthotheca* taxa and the confirmation of *K. ivorensis* as a unique and separate taxon, the taxonomy of the genus has been revised. The descriptions of the taxa have been entirely reworked and a new identification key is proposed. The new knowledge gained sheds light on the evolutionary history of mahoganies of the *Khaya* genus and the structural history of African forest biodiversity, with a view to laying the foundations for a conservation and sustainable management strategy for these species, which are highly prized both for their timber and their medicinal uses.

Keywords: taxonomy, biodiversity, *Khaya*, *Khaya anthotheca*, *Khaya ivorensis*, Meliaceae, African mahoganies, climatic changes

Estructuración de la biodiversidad
de los bosques africanos y cambios
climáticos: un estudio a través del
género *Khaya* (Meliaceae)

RESUMEN

Algunos estudios paleoecológicos sugieren que la composición florística, la estructura y la repartición actual de los bosques espesos africanos estuvieron fuertemente influenciadas por la aplicación de gradientes ecológicos, favoreciendo la especiación parapátrica. Además, durante los cambios climáticos del pasado, algunos «refugios forestales» habrían sido poco o nada afectados por las variaciones climáticas, favoreciendo una especiación alopátrica de las especies forestales. En África, los roles respectivos de estos dos mecanismos todavía han sido poco estudiados.

Abordamos esta problemática a través del género *Khaya* (Meliaceae, caobas de África), un género modelo cuyas especies presentan afinidades ecológicas variables, desde las sabanas arboladas hasta los bosques espesos húmedos perennifolios. La combinación de análisis genéticos y morfométricos ha permitido poner en evidencia la existencia de varios grupos distintos en el complejo *K. anthotheca*, que sugieren la existencia de al menos cinco taxones diferentes. Tres de estos taxones presentan distribuciones alopátricas o parapátricas, dos de los cuales se encuentran localmente en simpatria, y entre ellos hay un nuevo taxón para la ciencia. Estos taxones presentan especificidades que se pueden explicar tanto por los mecanismos de especiación parapátrica como alopátrica, en relación con los gradientes ecológicos y los cambios climáticos pasados. Por el contrario, la presencia de dos grupos genéticos de *K. ivorensis*, debidos a un aislamiento por la distancia, no permite separar dos taxones, aunque sugiere la desbastadura de una especiación que todavía no se ha alcanzado. Efectivamente, las poblaciones de los dos grupos comparten ciertos haplotipos cloroplásticos y mitocondriales que siguen historias evolutivas diferentes para cada marcador.

La existencia de varios taxones en el seno de *K. anthotheca* y la confirmación de *K. ivorensis* como taxón único y distinto, han llevado a la revisión taxonómica del género. La descripción de los taxones ha sido totalmente refundida y se ha presentado una nueva clave de determinación. Estos nuevos conocimientos permiten aclarar la historia evolutiva de las caobas del género *Khaya* y la estructuración de la biodiversidad de los bosques africanos para establecer las bases de una estrategia de conservación y de gestión sostenible de estas especies, tan buscadas tanto por su madera como por sus usos medicinales

Palabras clave: taxonomía, biodiversidad, *Khaya*, *Khaya anthotheca*, *Khaya ivorensis*, Meliaceae, caobas de África, cambios climáticos.



Doi : [10.19182/bft2018.339.a31718](https://doi.org/10.19182/bft2018.339.a31718)

Droit d'auteur © 2018, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad
Date de publication : 28 février 2019



Licence Creative Commons :
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.
Attribution-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-ND 4.0)

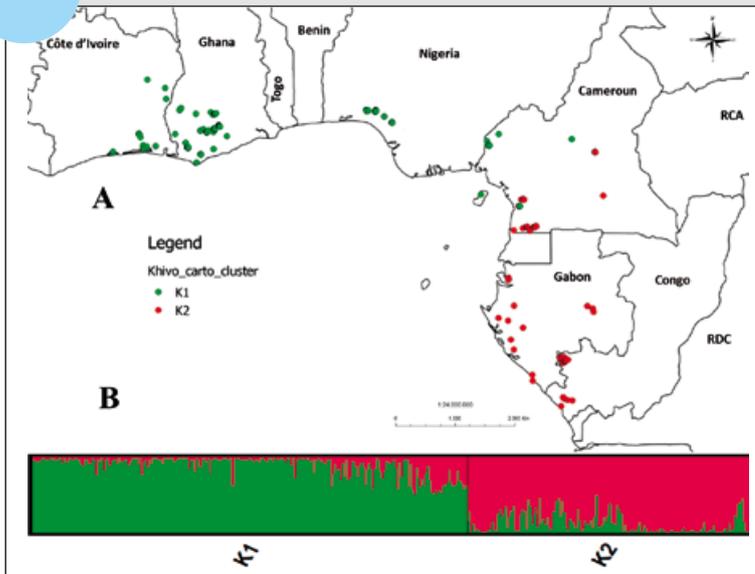


Figure 1.

(A) Répartition géographique des deux clusters génétiques (K1 et K2) de *Khaya ivorensis*. (B) Histogramme d'assignation des 376 individus selon K = 2 clusters génétiques obtenus par STRUCTURE. Chaque individu est représenté par une bande colorée verticalement. Deux couleurs sur un même individu désignent l'assignation de certaines parties de son génome à différentes populations ancestrales. Ce graphique a été réalisé via CLUMPP à partir du coefficient d'appartenance (q) des individus de *K. ivorensis*.

Figure 1.

(A) Geographic distribution of the two genetic clusters (K1 and K2) of *Khaya ivorensis*. (B) Bar chart assigning the 376 individuals by K = 2 genetic clusters obtained by STRUCTURE. Each individual is represented by a vertically coloured bar. More than one colour for the same individual indicates that parts of its genome are assigned to different ancestral populations. Graph produced with CLUMPP from the coefficient of relatedness (q) of *K. ivorensis* individuals.

Figura 1.

(A) Distribución geográfica de los dos grupos genéticos (K1 et K2) de *Khaya ivorensis*. (B) Histograma de asignación de los 376 individuos según K = 2 grupos genéticos obtenidos por ESTRUCTURA. Cada individuo está representado por una banda coloreada verticalmente. Dos colores en un mismo individuo designan la asignación de ciertas partes de su genoma a diferentes poblaciones ancestrales. Esta gráfica ha sido realizada vía CLUMPP a partir del coeficiente de pertenencia (q) de los individuos de *K. ivorensis*.



Photo 1.

Khaya ivorensis (Meliaceae). Arbre en bordure de route au centre du Cameroun. Espèce de 52 m de hauteur et plus, et de 2 m de diamètre ; fût droit et cylindrique ; contreforts développés ; écorce gris-vert, gris blanchâtre, rose ou brun clair, lisse puis s'exfoliant en petites plaquettes laissant apparaître un tronc rougeâtre ou roussâtre dans des dépressions circulaires ; tranche rouge vif, rose violacé, brunâtre ou brun foncé, cassante extérieurement et fibreuse, odorante. Elle produit un bois stable de densité (420) 560 - 570 kg/m³ (à 12 % d'humidité). Photo U. G. Bouka Dipelet.

Photo 1.

Khaya ivorensis (Meliaceae). A roadside specimen in central Cameroon. This is a species 52 m high and over, and 2 m in diameter; straight, cylindrical bole; well-developed buttresses; bark is grey-green, greyish-white, pinkish or light brown, later peeling off in scales leaving a reddish or russet trunk with small circular depressions; sections are bright red, pinkish-purple, brownish to dark brown, externally brittle, fibrous and scented. The timber is stable with a density of (420) 560 - 570 kg/m³ (with 12 % humidity). Photo U. G. Bouka Dipelet.

Foto 1.

Khaya ivorensis (Meliaceae). Árbol al borde de la carretera en el centro de Camerún. Especie de 52 m de altura y más, y 2 m de diámetro; fuste recto y cilíndrico; contrafuertes desarrollados; corteza gris verdoso, gris blanquecino, rosa o castaño claro; lisa y después se exfolia en pequeñas placas dejando el tronco rojizo o rosado con depresiones circulares; corte rojo vivo, rosa violáceo, oscuro o castaño oscuro, quebradizo exteriormente y fibroso, aromático. Produce una madera de densidad uniforme (420) 560 - 570 kg/m³ (con humedad del 12 %). Foto U. G. Bouka Dipelet.

Grade et diplôme : Docteur en Écologie et Biodiversité.

Université : thèse en cotutelle, Montpellier (France) et Marien Ngouabi (Brazzaville, République du Congo).

Date de soutenance : 12 décembre 2017.

Direction : Doyle McKEY (Co-directeur, France), J. Joël LOUMETO (Co-directeur, Congo), Charles DOUMENGE (Encadrant, CIRAD, France).

Composition du jury

Président : Jacques DAVID (Professeur, Université de Montpellier, SupAgro, France).

Rapporteurs : Porter Prescott LOWRY II (Senior Curator, MBG, États-Unis), Pauline GARNIER-GÉRÉ (Chargée de recherche, HDR, INRA, France).

Examineur : Sophie NADOT (Professeure des Universités, Paris Sud, France).

Langue de rédaction : français.

Accès au manuscrit :

www.theses.fr/s152427

Contact : CIRAD, Unité Forêts et Sociétés, Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5 (France). Laboratoire de Botanique et Écologie, Faculté des Sciences, Université Marien Ngouabi, BP 69, Brazzaville (Congo).

ulrichbouka@yahoo.fr

Publications

Bouka Dipelet U. G., Florence J., Doumenge C., Loumeto J. J., McKey D., 2017. *Khayae* (Meliaceae) specierum Nomenclator. *Adansonia*, 39 (1): 15-30. <http://www.bioone.org/doi/abs/10.5252/a2017n1a2>

Bouka Dipelet U. G., Doumenge C., Loumeto J. J., Florence J., Gonmadje C., McKey D., 2019. Des confusions entre espèces préjudiciables à la gestion durable des essences forestières : l'exemple des acajous d'Afrique (*Khaya*, Meliaceae). *Bois et Forêts des Tropiques*, 339 : 17-32. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2019.339.a31714>

ATLAS DES BOIS TROPICAUX CARACTÉRISTIQUES TECHNOLOGIQUES ET UTILISATIONS

Guide
pratique

Atlas des bois tropicaux



L'ouvrage présente des informations technologiques sur les bois destinées à tous les professionnels qui transforment et mettent en œuvre des bois tempérés ou tropicaux. Il réunit les principales caractéristiques technologiques de 283 essences tropicales et 17 essences de régions tempérées les plus employées en Europe, associées à leurs principales utilisations. Chaque fiche descriptive est assortie de deux photos de débit (dosse ou quartier, faux quartier), de deux macrophotographies, et, pour certaines espèces, d'une illustration d'usage. Les opérateurs de la filière bois en seront les principaux utilisateurs, qu'ils soient producteurs (gestionnaires forestiers, sociétés d'exploitation, décideurs politiques) ou consommateurs (importateurs, négociants, transformateurs, utilisateurs, architectes, maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrage). Cet Atlas constitue un outil pédagogique de référence pour les enseignements et les formations concernant les secteurs des forêts et du bois en région tropicale. Il a pour but de promouvoir pour chacune des essences les utilisations les plus appropriées en fonction de ses caractéristiques, en respectant l'adage « le bon bois au bon endroit ». Cet ouvrage a été réalisé par l'équipe Bois de l'unité de recherche BioWooEB du Cirad grâce au soutien financier de l'Organisation internationale des bois tropicaux (OIBT) et avec l'appui de l'Association technique internationale des bois tropicaux (ATIBT). Il est issu des résultats de trente années de recherche en sciences et technologie du bois fournis par de nombreux contributeurs. Il est coordonné au logiciel Tropix (version 7).

Sommaire

- Notice explicative
- Description des essences en 300 fiches :
 - Description de la grume
 - Description du bois
 - Propriétés physiques et mécaniques
 - Durabilité naturelle et imprégnabilité du bois
 - Traitement de préservation
 - Séchage
 - Sciage et usinage
 - Classements commerciaux
 - Réaction au feu
 - Principales utilisations
 - Principales appellations vernaculaires
 - Principales références bibliographiques
 - Lexique des noms botaniques
 - Lexique des principales appellations vernaculaires
 - Mes informations

Adapté du résumé de l'éditeur.

4th World Congress on Agroforestry

20-22 May 2019
Le Corum - Montpellier, France



Strengthening links between science, society and policy

More than 1,000 delegates and leading keynote speakers from all over the world will make this gathering a unique experience.

Gathering a range of stakeholders

Agroforestry facts and figures from developing and developed countries will be presented and discussed by a wide range of stakeholders: researchers, policy makers, farmers, donors, government officials, students, the private sector and civil society members.

Contributing to the progress of agroforestry

The overall objective of the Congress is to contribute to the progress of agroforestry science and practice in order to bridge the science-policy gap.

Major topics

Agroforestry and climate change.
Adoption of agroforestry.
Agroforestry policies.
Special attention will be paid to vulnerable countries and populations.

agroforestry2019.cirad.fr

Organizing Committee

CIRAD's Director General for Research and Strategy:
Elisabeth Claverie de Saint Martin
INRA's Vice President for International Policy:
Jean-François Soussana

Chair of Scientific Committee

Christian Dupraz, INRA, France

Chair of Organizing Committee

Emmanuel Torquebiau, CIRAD, France
Representative from ICRAF: Ravi Prabhu
Representative from FAO: Simone Borelli
Representative from ACIAR: Andrew Campbell
Representative from French Ministry of Agriculture:
Christophe Pinard

Farmers representative

EURAF President: Patrick Worms
President of North America Agroforestry Association (AFTA):
Badege Bishaw

NGO Representative
Private Sector Representative
Representative from Occitanie Region, France